ل. پانوماریف

در آنسوی کوانت

بنگاه نشریات «میر»
مسکو



Л. ПОНОМАРЁВ

«ПО ТУ СТОРОНУ КВАНТА»

Издательство «Молодая гвардия»
Москва

ل. پانوماریف

درآنسوی کوانت

بنگاه نشریات "میر"

مسکو

ترجمه از هوشنگ طغرائی

На персидском языке

فهرست

قسمت

۱

واقعیات



از نویسنده

عقیده سرسختی وجود دارد، مبنی بر اینکه در علم حقایق و فاکتهائی موجود است که آشنائی با آنها و دانستنش برای مبتدیان زود است، لکن دادن اطلاعات در باره آنها به اهل خبره باعث خجلت. این مطلب قبل از همه هنگام کوشش در توضیح ساختمان اتم از خاطر میگذرد. شاید بهمین علت هم تا کنون درباره مکانیک کوانتائی کتابی بقدر کافی جدی که موجب رنجش اهل فن نگردد و آنقدر ساده که مبتدیان را نهراساند و در عین حال جالب برای هر دو دسته باشد، نوشته نشده است.

کتاب حاضر برای اهل فن نوشته نشده، اگر چه آنها نیز در اینجا بفاکتهای غیر منتظرهای بر خواهند خورد. کتاب برای کسانی است که مدرسه‌را بپایان رسانده‌اند. برای کسانیکه سعی دارند از دیدگاه وسیعتر از آنچه محدودیت اختصاصشان که لازمه ثمر بخشی است به آنها اجازه میدهد بجهان بنگرند.

در کتابی که تقدیم میشود تاریخچه اتم کاملاً جدی حکایت شده است. لکن جدی بودن در آن هدف اصلی نیست، چون معمولاً تنها خود فاکتها برای ما جالب نیستند بلکه تفسیر آنها و در چه اوضاع

و احوالی آنها کشف شده‌اند نیز مورد توجه ما میباشد. از این رو هم نکته اساسی در این کتاب، تکامل نظریه‌ها و مفاهیم فیزیک اتمی است که سیستم واحد و ساده و هم آهنگی را تشکیل میدهد. بویژه همین زیبائی درونی علتی بود که مشوق بوجود آمدن این کتاب گردید. من کار خود را عبث نخواهم شمرد اگر خوانندگان کتاب قدرت ساختمان منطقی مکانیک کوانتائی را دریابند و زیبائی نتایج ساده و غیر منتظره‌اش را احساس کنند.

فصل اول

اتم ◇ شعاع ◇ کوانت

در پاسخ به سؤال «مکانیک کوانتائی چیست؟» عده معدودی هستند که میتوانند پاسخ معقولی بدهند، بقیه هم بسادگی اظهار عقیده میکنند که مکانیک کوانتائی علم بسیار مشکلی است. شاید این صحیح نباشد، ولی چنین اعتقادی هم بی‌علت رواج پیدا نکرده است. در حقیقت منطق مکانیک کوانتائی ساده است، اما با همه این برای آنکه بدان عادت کنیم باید چند مفهوم مقدماتی‌را که در نظر اول بهیچوجه ارتباطی با هم ندارند آموخت. این مفاهیم نه بیک باره بلکه پس از مدتهای مدید مقایسه و تفکر در یک سیستم هم آهنگ قرار میگیرند.

برای این هم زمان و نیرو لازم است.

اگر شما از مکانیک کوانتائی فقط همین‌را میدانید که آن «....... معمای باستانی اسرار میکرو گیتی را حل کرد» و یا اینکه «... تمام جهان‌بینی ما را درهم ریخت» آنوقت اطلاعات شما نظیر معلومات آن جهانگردان است از یک کشور باستانی که در آن مشغول سیر و سیاحتند و قبلاً هم فرهنگ و زبان آنرا نیاموخته اند. آنها در اطراف خود شاهد آنند که سردم عجله میکنند، می‌خندند، دستان خودرا حرکت میدهند، لکن برای جهانگردان هدف این حرکات نامعلوم و سرور آنان نا مفهوم است. در نتیجه در خاطره اینگونه جهانگردان فقط لکه‌های درخشان اعلانات آنهم بزبان نا آشنا بر جای میماند.

مکانیک کوانتائی — سرزمینی پهناور با فرهنگی ژرف و پرغنی میباشد که برای آشنائی با آن باید زبان آنرا آموخت. البته زبان آن، زبان خود ویژه ایست، لکن در حقیقت با هیچ زبان بیگانه‌ای فرق ندارد. برای آموزش آن مثل هر زبان دیگری تنها عزم راسخ کافی

نیست بلکه سیستم لازم است. برای شروع بکار ابتدا باید خیلی ساده چند مفهوم را که زیاد مورد استعمال دارد بخاطر سپرد و کوشید بطور ساده از آنها جملاتی ساخت و باک نداشت از اینکه نتوانسته ایم خیلی هم جدی قواعد و دستور زبان را در آنها بکار بندیم. فقط بعدهاست که آن سهولت و اطمینان در آموزش زبان پیش میاید و یک نوع احساس رضامندی و خرسندی از دانش ناب‌را بدنبال دارد. شاید آموزش مکانیک کوانتائی تقریباً در همگان جریان حل شدن نمک‌را در آب بخاطر آورد. در بادی امر بلورهای کوچک نمک که در استکان آب انداخته میشود بدون آنکه اثری بر جای بگذارند از نظر نا پدید میگردند، لیکن بعداً لحظه‌ای فرا میرسد که کافی است بلورک دیگری اضافه کنیم تا در محلول در محل این باصطلاح محرک کوچک، متدرجاً بلور منظم بزرگی رشد نماید.

بعدها ما به تحقیق و بررسی سر چشمه‌های نظریه و پیدایش مکانیک کوانتائی پرداخته و سیستم مفاهیم و اشکال آنرا تشریح نموده و سرانجام از موارد کاربرد آن سخن بمیان خواهیم آورد. اما در آغاز کار ما باید بلوری از مفاهیم اولیه‌را در مغز خود حل نمائیم، چند کلمه مورد نیاز را بیاموزیم که بدون آنها نمیتوان حتی یک «جمله کوانتائی» که معنی داشته باشد ساخت. البته این کار گاهی هم خسته کننده است. اما چه میشود کرد، برای پرواز به فضاء باید دوید، در دستگاه‌های گریز از مرکز نشست و چرخید که البته تمام اینها چندان شاعرانه هم نیست. سچنف فیزیولوژیست معروف دوست داشت همواره تکرار کند که «برای آنکه عضلات رشد یابند باید خسته شوند». اگر یک بار برای همیشه خسته و فرسوده شدن را بر خود منع سازیم، می‌بینیم که هرگز نمیتوان هیجان تجسس، سرور و شادی کشف را و آن توجه بی‌شائبه را به چیزهای بی‌اهمیت که در حقیقت نه تنها مکانیک کوانتائی بلکه تمام علوم را بوجود می‌آورند فهمید.

البته تمام اینها در اینجا از آن جهت گفته نشده است که خواننده را در همان آغاز راه از مشکلات بهراسانیم بلکه خود قضاوت کنید: چنان داروئی وجود ندارد که انسان آنرا بخورد و سر بربالین گذارد و صبحگاهان پرفسور فیزیک سر از بالین بر دارد. برای شروع، ابتدا

ما سه اندیشه را فرا میگیریم که اساس و بنیاد تمام فیزیک اتمی هستند: اتم، شعاع و کوانت.

اتم

بدین ترتیب، مکانیک کوانتائی چیست؟ مکانیک کوانتائی — دانشی است درباره ساختمان و خواص اجسام و پدیده‌های اتمی.

در هر صورت ما عجالتاً به توضیح مفاهیم موجود در این تعریف‌ها نمیپردازیم بویژه که بی نتیجه بودن آن هم واضح است. واقعاً هم، مثلاً کلمات «خواص اجسام اتمی» و یا اتم یعنی چه؟

اگر فرضاً صحبت از هندوانه رسیده‌ای باشد، آنوقت چنین مشکلی و سؤالی پیش نمی‌آید، زیرا خواص آن کاملاً در مفاهیم حسی ما مشخص و معین است: باید گرد، سنگین و آبدار باشد، عطر تر و تازگی از آن بمشام برسد و بالاخره باید در زیر چاقو باصدای قرچ و قرچ قاچ شود. اما در سورد اتم‌ها چگونه است؟ (یعنی آنچه که ضمناً این هندوانه از آنها مرکب شده است). آخر آنها را نه مستقیماً میتوان دید و نه میتوان لمس کرد. ولی این البته بدان معنی نیست که اتم اصلاً وجود خارجی ندارد، بلکه دلیل بر آنست که خواص آن بکلی با خواص هندوانه صحیح و سالم فرق دارد.

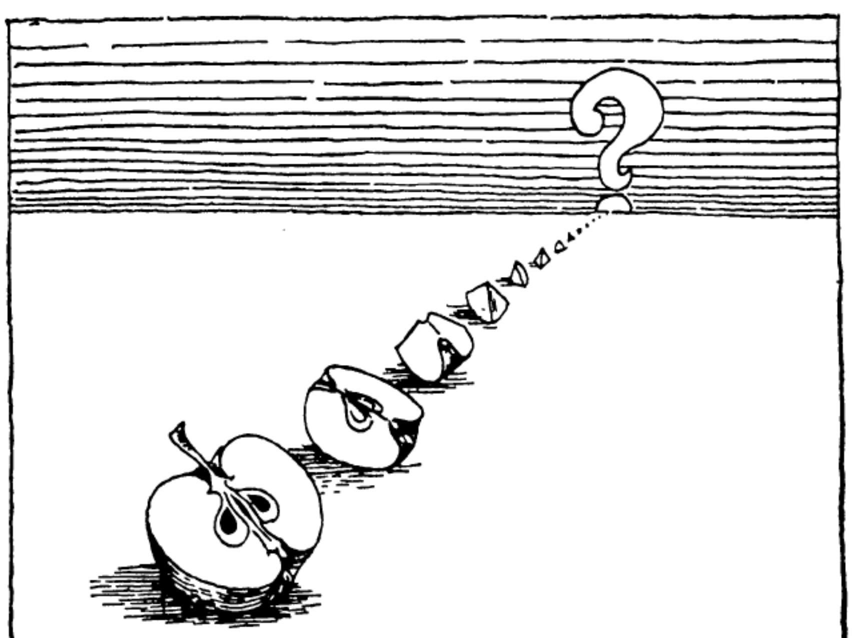
اکنون دیگر بندرت اشخاصی یافت میشوند که واقعیت اتم برایشان از گردش زمین بدور خورشید کمتر واضح باشد. تقریباً هر شخصی این مفاهیم را بایک حس درونی بصورت یک چیز کوچک تقسیم ناپذیر مجسم میسازد. سر انجام فیزیک معاصر چه معنائی برای مفهوم «اتم» قایل است؟ این مفهوم چگونه پدیدار گشت، قدما از آن چه میفهمیدند، بعداً چگونه رشد یافت و چرا فقط مکانیک کوانتائی مضمون واقعی این طرح خیال انگیز را پر کرد؟

چنین مورد قبول همگان افتاده است که دمکریتوس را آفریننده نظریه اتم بدانند، اگر چه تاریخ از معلم او لوکیپوس از اهالی میلتوس، و با اطمینان کمتری از عالم فنیقیه موسخ اهل سیدون و از فیلسوف هند باستان کانادا که چندی قبل از میلاد میزیست و تقریباً همانهارا میآموخت یاد میکند. («کانادا» در ترجمه از سانسکریت بمعنی «خورنده

با ولع اتم» است). بعقیده کانادا تقسیم بی‌پایان ماده — حرف مهملی است، زیرا در این صورت دانه خردل کوه خواهد بود، زیرا «... بینهایت همواره معادل بینهایت است». طبق تعلیمات کانادا کوچکترین ذره در طبیعت — ذره گرد و غبار در اشعه آفتاب است که «بنابر مشیت الهی یا چیز دیگری» جفت جفت بهم مربوطند.

در باره خود دمکریتوس اطلاعات زیادی نداریم، فقط میدانیم که او در آبدر مستعمره یونان در سواحل فراکیه دریای مدیترانه بدنیا چشم گشود و بغیر از لوکیپوس نزد کلدانی‌ها و مغان ایرانی نیز به تحصیل پرداخته است، خیلی جهان دیده بوده و اطلاعات و معلومات فراوانی داشته است. تقریباً صد سال زندگی کرد و در سال ۳۷۰ ق. م. وفات کرد و از طرف همشهری‌هایش که نسبت به او احترام فوق‌العاده‌ای قائل بودند بحسابشان بخاک سپرده شد. صورت گران نسل‌های بعدی در تصاویری که از دمکریتوس نقاشی کرده‌اند، او را بصورت مردی بلند بالا، باریشی کوتاه، در لباس سفید و با کفش‌های تابستانی رو باز جلوه‌گر ساخته‌اند.

در افسانه‌ها گفته میشود که روزی دمکریتوس بر سنگی لب دریا نشسته و سیبی در دست داشت و فکر میکرد که: «اگر اکنون این سیب را به دو نیم کرده و یک نیمه را بخورم آنگاه نیم دیگر در



دستم باقی میماند، سپس اگر این نیمه را بدونیم کرده و باز نیمی را بخورم، آنوقت $\frac{۱}{۴}$ سیب باقی میماند، خوب اگر این کار را ادامه دهم به ترتیب $\frac{۱}{۸}$ ، $\frac{۱}{۱۶}$ و الی آخر از سیب در دست من باقی خواهد ماند؟ یا اینکه لحظه‌ای خواهد رسید که تقسیم تازه بدان منجر میگردد که قسمت باقی مانده دیگر دارای خواص سیبی نخواهد بود؟». بعدها معلوم شد که در این تردید دمکریتوس (تقریباً همانند هر شک بیغرضانه‌ای) گوشه‌ای از حقیقت وجود داشته است. این فیلسوف که دارای افکاری پخته و سنجیده بود به این نتیجه رسید که چنین تقسیمی دارای حدی است و این آخرین قسمت غیر قابل تقسیم‌را اتم نامید و در اطراف خیال پروری‌های خود کتابی بنام «دیاکسموس کوچک» نوشت.

گوش کنید، این چیزی است که دو هزار سال قبل نوشته شده است!

«گیتی از اتم‌ها و خلاء آغاز میشود و مابقی فقط در فکر و نظر وجود دارد. جهان‌ها کثرت‌های بیشماری بوده و از لحاظ زمان آغاز و پایانی دارند و هیچ چیز از عدم بوجود نمی‌آید و هیچ چیز معدوم نمیشود و اتم‌ها که از لحاظ تعداد وکثرت بیشمارند عالم را در بر گرفته و چون گردبادی در چرخشند و بدین شکل است که کلیه ترکیبات بغرنج از قبیل آتش، آب، هوا و زمین آفریده میشوند. مطلب در آنست که این چهار عنصر جزء ترکیبی برخی اتمها هستند. اتم‌ها در برابر هیچ چیز سر فرود نمی‌آورد و در نتیجه سختی شان، تغییرناپذیر میماند».

دمکریتوس قادر نبود این گفته‌های خودرا ثابت کند، او میخواست سخنانش‌را باور کنند. ولی کسی باور نکرد و قبل از همه همدوران بلند پایه‌اش ارسطو به او باور نداشت. هنگامیکه دمکریتوس دیده از دنیا فروبست، ارسطو معلم آینده اسکندر مقدونی فقط ۱٤ سال داشت. و اما وقتی به اوج شکوفانی قدرت و نیرو رسید آدمی بود لاغر اندام و کوتاه قد و ظریف و احترام نسبت به او اغلب از حدود عقل و درایت میگذشت. البته این هم بی علت نبود، او آدمی محیط بر تمام دانش آن دوران بود.

ارسطو بر عکس دمکریتوس چنین میاموخت: جریان تقسیم سیب را میتوان تا بینهایت ادامه داد لااقل در اصول و پرنسیپ. این آموزش

همه جا حکمفرما گردید و دمکریتوس قرنها بدست فراموشی سپرده شد و آثارش‌را که ارزش بهترین جایزه‌هارا داشتند با دقت از بین بردند. از اینروست که از آموزش دمکریتوس فقط در قطعات و شواهد معاصرینش چیزهائی باقی‌مانده و اروپائیان تنها از روی منظومه تیت لوکرتیوس کار* (۵۵ — ۹۹ ق. — م.) بنام «درباره طبیعت اشیاء» او را شناختند.

بی معنی است که قدما را در چنین انتخابی گناهکار بشمریم — زیرا برای آنها هر دو سیستم به یک اندازه عاقلانه و قابل قبول بودند: آنها هدف علم خود را در بکار بستن عملی آن نمیدیدند (از آن شرم داشتند) بلکه در آن میدیدند که بکمک خیالپردازی بدان حس هماهنگی جهان دست یابند که هر فلسفه کاملی به انسان‌را میبخشد.

دو هزار سال لازم بود تا بشریت از گمراهی آن رجل بزرگ دانش نجات یابد. در سده هفدهم میلادی برای نخستین بار فیزیک علمی بمیان آمد و بزودی عرصه را بر فلسفه طبیعی باستان تنگ کرد. این علم نوین نه بر خیالپردازی صاف و ساده بلکه بر تجربه و ریاضیات اتکا کرد. آموختن طبیعت محیط آغاز شد: نه تنها مشاهده بلکه انجام تجربیات آگاهانه‌ای برای آزمون فرضیه‌ها و در ضمن ثبت نتایج این تجربیات بصورت اعداد. نظریه ارسطو تاب چنین آزمونی را نیاورد، در صورتیکه فرضیه دمکریتوس آنرا تحمل کرد و سر بلند بیرون آمد اگر چه در آینده خواهیم دید که از شکل اولیه آن چیزی بر جای نمانده است.

نظریه اتم‌را پس از بیست قرن فراموشی، فیلسوف و روشنگر فرانسوی پیر گاسندی (۱۵۹۲ — ۱۶۵۵)** دوباره زنده کرد و بهمین جهت هم از طرف کلیسا تحت تعقیب قرار گرفت. طبق سنن قرون وسطی نه تنها فرضیه‌ها حتی واقعیات مسلم علمی متضاد با احکام دینی، تحت تعقیب قرار میگرفت. معذلک فرضیه اتم مورد قبول کلیه علمای پیشگام آن دوران بود. حتی نیوتن که شعار مشهورش این بود که:

---

* Lucretius شاعر لاتین متولد در رم.

** Pierre Gassendi

2*

«Hypothesis non fingo» (فرضیه نمیسازم) آنرا پذیرفت و طبق سلیقه خود در پایان سومین جلد «مبحث نور» ذکر کرد.

اما تا وقتیکه فرضیه اتم از طریقه تجربی تائید گردید، با همه جذبه‌اش، فقط بصورت یک فرضیه باقی مانده بود.

نخستین دلیل و مدرک عینی‌را برای اثبات اینکه حق با دمکریتوس بوده است نه با ارسطو گیاه شناس اسکاتلندی روبرت براون (۱۷۷۳ — ۱۸۵۸)* پیدا کرد. در سال ۱۸۲۷ او در حالیکه مرد جا افتاده‌ای بود ریاست شعبه گیاهشناسی موزه بریطانی‌را بعهده داشت. او در دوران جوانی چهار سال در ماموریت‌های علمی در استرالیا بسر برده بود و از آنجا قریب چهار هزار نوع گیاه همراه آورد. با گذشت ۲۰ سال هنوز هم او بمطالعات خود روی کلکسیون ثمره این ماموریت علمی ادامه میداد. در تابستان سال ۱۸۲۷ براون متوجه شد که کوچکترین ذرات گرد گل تحت تاثیر یک نیروی نا معلوسی آزادانه در آب حرکت میکنند. بلافاصله او مقاله‌ای منتشر کرد که عنوانش برای آن قرن آرام بسیار خود ویژه بود: «گزارش کوتاهی از مشاهدات میکروسکپی طی ماه‌های ژوئن و ژویه و اوت سال ۱۸۲۷ روی ذرات موجود در گرد گل گیاهان و در باره وجود ملکول‌های فعال در اجسام آلی و غیرآلی».

تجربیات او در ابتدا با شک و تردید مواجه شد. براون که میکوشید پدیده «نیروی زنده‌ای» را که گویا خاص ملکولهای آلی است توضیح دهد، با این عمل خود شک و تردیدهارا افزایش داد.

طبیعی است که چنین توضیح مستقیم «حرکت براونی» نمیتوانست علمارا قانع کند و آنها برای تحقیق و بررسی آن تلاشهای تازه‌ای‌را آغاز نهادند. در میان آنان بویژه کاربونل بلژیکی (۱۸۸۰) و گوئی فرانسوی (۱۸۸۸) کارهای زیادی انجام دادند. آنان با دقت هر چه تمامتر به تجربه پرداختند و روشن و معین ساختند که حرکت براونی به عوامل خارجی: فصل‌های سال و شب و روز، و اضافه کردن املاح و انواع گردگل بستگی نداشته و شب هنگام در روستای آرام و یا در روز روشن در جوار خیابانهای پرجمیعت که وسایل

Robert Brown *

نقلیه سنگین در عبور و مرورند بخوبی و بطور یکسان مشاهده میگردد و این حرکت حتی به شکل ذرات هم بستگی ندارد بلکه فقط به اندازه آنها وابسته بوده و از همه مهمتر آنکه هرگز متوقف نمیشود. (۱۹ قرن قبل از براون، این ویژه‌گی حرکت براونی را لوکرتیوس کار بطور تخیلی پیش خود مجسم ساخت و در منظومه خود مشروحاً از آن سخن گفت).

باید متذکر بود که این حرکت شگفت انگیز در اوایل توجه زیادی بخود جلب نکرد. اکثریت علمای فیزیک چیزی در باره آن نمیدانستند و آنهائی هم که کم و بیشی از آن اطلاع داشتند، آنرا جالب نشمرده و چیزی نظیر پدیده حرکت گرد و غبار در اشعه آفتاب می‌پنداشتند. تنها پس از ٤٠ سال و شاید برای اولین بار این فکر بدین صورت شکل گرفت که حرکت نامنظم گردگل گیاهان که در زیر میکروسکپ مشاهده میشود در اثر بر خورد تصادفی آنها با ذرات کوچک و نامرئی مایع پدید می‌آید. در نتیجه خدمات گوئی بود که همگان بدان معتقد گشتند و فرضیه اتم پیروان فراوانی یافت.

البته تا قبل از براون کم نبودند اشخاصی که جداً معتقد بودند که کلیه اجسام از اتم‌ها تشکیل شده‌اند وحتی برخی از خواص اتم بدون تحقیقات آتی برایشان مسلم شمرده میشد. در حقیقت هم در طبیعت کلیه اجسام صرف نظر از اختلاف بسیار زیاد بین آنها، هر یک دارای وزن و ابعادی میباشند. مسلم است که اتمهای آنها نیز باید دارای وزن و ابعادی باشد. بویژه همین خاصیت آنها بود که معلم فروتن ریاضیات و فلسفه طبیعی منچستر جون دالتون (۱۷٦٦ — ۱۸٤٤)* اساس نظریات خود قرار داد و این عالم بزرگ توانست راه پیشرفت تقریباً صد ساله شیمی‌را مشخص سازد.

بلافاصله در بین هواداران آموزش اتمی چنین سؤالی مطرح گشت: آیا این بدان معنی نیست همانطور که دمکریتوس میگفت: گوناگون بودن اجسام دلیل گوناگون بودن اتمها میباشد؟

اما معلوم شد که این صحیح نیست. جون دالتون با مطالعه همه جانبه فعل و انفعالات شیمیائی، در سال ۱۸۰۸ برای نخستین بار

---

* Jonh Dalton

بطور دقیق مفهوم عناصر شیمیائی‌را چنین فرمولبندی کرد: عنصر — جسمی است مرکب از اتمهای همگون.

معلوم شد که تعداد عناصر هم چندان زیاد نیست: در آن زمان در حدود ۴۰ نوع (اکنون ۱۰۴) از آنها را میشناختند. کلیه اجسام باقی مانده نیز از ملکول‌ها تشکیل میشوند که خود مرکب از توام شدن اتمها باشکال گوناگون میباشد. خود اتمهای عناصر مختلف نیز با هم متفاوت‌اند. یکی از این تفاوت‌ها را که خیلی زود پیدا کردند تفاوت جرم اتمها بود. با قبول وزن اتمی یکی از سبکترین گازها یعنی هیدرژن بعنوان واحد وزن، بیان وزن اتمی سایر عناصر ممکن شد. بر حسب این واحد، وزن اتمی اکسیژن ۱۶، آهن ۵۶ و الی آخر میباشد. بدین ترتیب در دانش اتمی برای نخستین بار اعداد وارد شد و این حادثه‌ای بود که حایز اهمیت فوق‌العاده‌ای بود.

لاکن در باره ابعاد مطلق و جرم اتمها هم چنان هنوز هیچ چیز معلوم نبود.

یکی از نخستین تلاشهای علمی برای ارزیابی اندازه اتمها متعلق به میخائل واسیلیویچ لومنوسف* (۱۷۱۱ — ۱۷۶۵) میباشد. در سال ۱۷۴۲ او متوجه شد که جواهر سازان زبردست قادرند ورقه‌هائی از طلاء بضخامت یک ده‌هزارم سانتیمتر (10^{-4} cm) بسازند، پس بنابراین اتم طلا نمی تواند از این اندازه بزرگتر باشد. در سال ۱۷۷۳ بنجامین فرانکلین** (۱۷۰۶ — ۱۷۹۰) متوجه شد که اگر یک قاشق چایخوری روغن (تقریباً بحجم ۴ سانتیمتر مکعب) را روی سطح آرام آب بریزیم، سطحی معادل ۰٫۲ هکتار یعنی ۲ هزار متر مربع یا 2×10^{7} cm² را خواهد پوشاند. واضح است که در اینصورت قطر ملکول روغن نمیتواند از

$$d=\frac{4\ \text{cm}^3}{2\times10^{7}\ \text{cm}^2}=2\times10^{-7}\ \text{cm}$$

(یعنی دو ده ملیونیم سانتیمتر) زیادتر باشد.

اما نخستین تلاشهائی که برای ارزیابی ابعاد و جرم اتمها مقرون موفقیت گردید، اقدامات استاد فیزیک دانشگاه وین یوسف لشمیت

Mikhail Vassilievitch Lomonossov *

Benjamin Franklin **

(۱۸۲۱ — ۱۸۹۵) باید شمرده شود. در سال ۱۸۶۵ او پیدا کرد که ابعاد کلیه اتمها تقریبا یکی است و معادل 10^{-8} cm میباشد و وزن اتمی هیدرژن فقط 10^{-24} گرم است.

در اینجاست که ما برای اولین بار با چنین اندازه‌های بسیار کوچکی مواجه میشویم، و طبیعی است که ما برای درک و فهم آنها هیچ عادت نداریم. ما میتوانیم بگوئیم سبک چون پر، نازک چون تار عنکبوت، از این بیشتر که نمیتوانیم. اگر چه یک اونس (واحد وزن انگلیسی معادل ۲۸٫۳۵ گرم — م.) تار عنکبوت‌را میتوان از این سوی اقیانوس اطلس تا آن سوی آن کشید. اما باهمه اینها، تارعنکبوت چیزی است دارای وزن و کاملاً واقعی. در ضمن ضخامت تار عنکبوت یک ملیون مرتبه قطورتر از اتم است. حال برای آنکه شکاف بین عقل سلیم و چیزهای کوچک را به نحوی پر کنیم، دست بداماں مقایسه میشویم.

اگر آن «اتم هندوانه» که قبلاً هم از آن سخن بمیان آمد و یک دانه آلبالو بقطر یک سانتیمتر را بر داریم و آنهارا باهم بزرگ کنیم تا جائیکه آلبالو به اندازه کره زمین بشود آنوقت «اتم هندوانه» از لحاظ وزن و اندازه کم‌کم شبیه به یک هندوانه واقعی خوب میگردد.

لیکن ارزش نسبی چنین مقایسه‌ها خیلی نا چیز بنظر میرسد زیرا مفهوم اندازه یعنی کمیتی که با بکار بردن مقیاس اندازه‌گیری میشود در مورد چیزهای به این کوچکی معنی اولیهٔ خود را از دست میدهد. بهمین جهت هم بهتر است از همان آغاز نکوشیم چنین اعدادی را بطور مشهود و عیانی در نظر آوریم. این اعداد با وجود فوق العاده کوچک بودنشان اختیاری نیستند: این مهم است که بفهمیم ثبت اتمها با چنین اقطار و اجرام کوچک برای آن لازم است که خواص مواد که از این اتمها تشکیل شده‌اند بویژه آنچنان نموده شوند که در طبیعت ما مشاهده میکنیم.

لشمیت این اعداد را هنگام مطالعه تداخل متقابله گازها یعنی قابلیت اختلاط آنها موقع برخورد بدست آورد. (اتفاقاً ما همه با این پدیده خوب آشنا هستیم، گر چه معمولاً هنگامیکه اطراف مارا بوی علف‌های درو شده پر میکند، آنرا بخاطر نمی‌آوریم). در اینجا لشمیت از فرضیه سینتیک — ملکولی که معتقد است که گازها از ملکول متحرک

تشکیل شده‌اند و نه بطور ساده از ملکول استفاده کرد. او همچنین بکمک فرمول نظریه سینتیک گازها فاصله متوسط بین ملکول‌های گاز را معین کرد که تقریباً ده مرتبه زیادتر از قطر اتم است.

اگر گاز به مایع تبدیل شود یعنی حجم آن تقریباً هزار بار تقلیل یابد آنگاه فاصله بین اتمهای آن ده مرتبه کمتر خواهد شد، این بدان معنی است که در مایعات و جامدات اتمها محکم بیکدیگر فشرده‌اند. اما با وجود این، آنها آرام نمی‌نشینند، تنها در این حالت میدان حرکت آنها تنگ شده و از قانون دیگری تبعیت میکند که غیر از قانون حرکت ملکولهای گاز است.

اکنون تعداد ملکولهای گاز در حجمی معادل یک سانتیمتر مکعب تحت فشار عادی آتمسفر و دمای یخ در حال ذوب با دقت فوق‌العاده زیادی معلوم است وعدد لشمیت خوانده میشود

$$L = ۲,۶۸۸۴۰۸ \times ۱۰^{۱۹} \mathrm{cm}^{-۳}$$

این عدد تقریباً ده بار بزرگتر از آنست که برای نخستین مرتبه بدست آمده بود.

اشعه

آهن نیز همانند هر ماده دیگری از اتم تشکیل شده است. اگر یک انتهای میله آهنی‌را در کوره بگذاریم واضح است که شروع بگرم شدن مینماید. از نقطه نظر تئوری سینتیک این بدان معنی است که اتم‌های آهن شروع کرده‌اند بسریعتر حرکت کردن (این‌را میتوان با لمس انتهای دیگر میله آهنی فهمید). بدین ترتیب دما، همان انرژی اتم در حال حرکت است. اما این هنوز تمام مطلب نیست.

با گرم شدن میله آهن ما شاهد پدیده حیرت‌انگیزی خواهیم گشت، با افزایش دمای کوره متدرجاً رنگ آهن گرم از سرخ آلبالوئی تا سفید خیره‌کننده تغییر مییابد. علاوه براین حالا دیگر نه تنها نمیشود به میله آهنی دست زد بلکه حتی نزدیک شدن به آنهم چندان ساده نیست. این مطلب اخیر قابل فهم نیست اگر تنها با استفاده از تصور درباره حرکت اتم‌ها بمسئله بر خورد کنیم، واقعاً هم که ما به آهن دست

نزدیم و اتمهای آهن هم که ضربه‌ای بدست ما نزدند، پس چرا ما احساس گرما کردیم؟

در اینجا ما برای نخستین بار با موقعیتی رو برو میشویم که در همان ابتدا بدان اشاره کردیم. ما باید مفهوم تازه‌ای مصطلح کنیم که در نظر اول بهیچوجه با نظریه اتم مربوط نمیگردد. این مفهوم تشعشع است.

ما میگوئیم: اشعه آفتاب مرغزار را در جنگل روشن میکند. یعنی نور — تشعشع است. لیکن هم چنین ما میگوئیم: در زیر اشعه آفتاب گرم شدیم. از اینجا هم به این نتیجه میرسیم که دما میتواند بصورت اشعه پخش شود. بطور کلی ما همواره با تشعشع سر و کار داریم: وقتی کنار آتش نشسته‌ایم، وقتی غروب آفتاب را تماشا میکنیم، هنگامیکه دسته تنظیم رادیو را میچرخانیم و یا وقتی از سینه کسی عکس برداشته میشود. اینها همه انواع تشعشع: دما، نور، امواج رادیو و اشعه ایکس — همه تظاهر گوناگون یک چیز — یعنی تشعشع الکترومغناطیسی هستند. لیکن با همه این ما میان انواع تشعشع‌ها فرق میگذاریم، نه تنها از نظر کیفیت و ذات آن بلکه، همچنین جداً از نظر کمیت. اما با کدام نشانه؟ تشعشعات الکترو-مغناطیسی از این نشانه‌ها زیاد دارند، اما آنچه بویژه اکنون برای ما مهم است — طبیعت موجی آنست.

شاید در هزار و یک کتاب درسی خواص موج بهتر از آنچه ما اینجا شرح میدهیم بیان شده باشد. لیکن ما با همه این از آن یاد میکنیم، درست بهمان علت که حتی در کتب لغت معتبر فرهنگستانی هم لغات خارجی گنجانیده میشود که حتی در فرهنگ‌های معمولی نیز بخوبی میتوان بمعنی آنها پی برد.

«موج» یکی از لازم ترین کلمات فیزیک است.

هر کس به نحوی آنرا تجسم میکند، یکی بلافاصله پس از پرتاب سنگ در آبگیر امواج‌را بر سطح آب مشاهده میکند دیگری سینوسوئیدی بودن آنرا. از آنجا که ترسیم سینوسوئید سهل‌تر است ما هم از آن استفاده میکنیم. در این موج که بطور شماتیک رسم شده است چهار خاصیت وجود دارد: دامنه A، طول موج λ، بسامد ν و بالاخره سرعت انتشار v.

دامنه موج — عبارتست از حد اکثر ارتفاع موج. طول موج هم که از روی شکل ترسیم شده قابل فهم است. بنظر می‌آید که سرعت انتشار هم احتیاجی بشرح و بسط خاصی نداشته باشد. اما برای آنکه روشن گردد که بسامد یعنی چه، کافی است حرکت موج در مدت یک ثانیه‌را تحت نظر بگیریم.

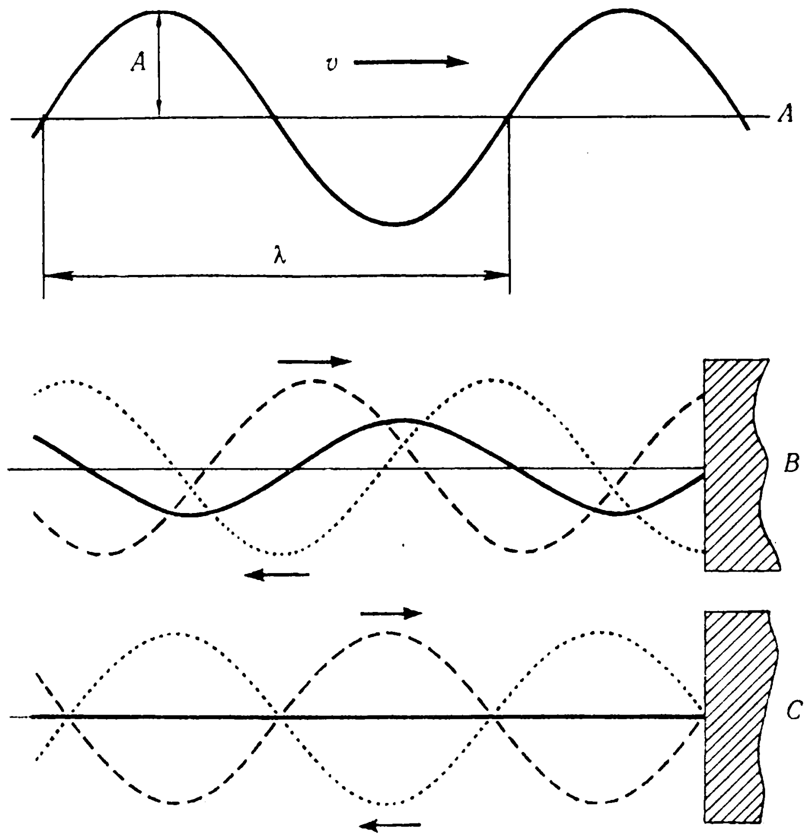
در این مدت زمان موج فاصله v سانتیمتر را می پیماید (یعنی سرعت آن برابر است با v سانتیمتر در ثانیه). با حساب تعداد طول موج-هائی که در این فاصله جای میگیرد، ما بسامد موج (یا تشعشع) را بدست می آوریم:

$$\nu = \frac{v}{\lambda}$$

مهمترین خاصیت امواج — قابلیت تداخل آنهاست. مقصود از این چیست؟ فرض کنیم شما مشتی نخود را با شدت بطرف دیواری پرتاب کنید بطوریکه پس از بر خورد به دیوار در فاصله نسبتاً دوری از آن بیافتد. باز فرض کنیم شما موفق شده باَشید بطور منظم مثلاً در هر ثانیه بهر سانتیمتر مربع دیوار ۸ عدد نخود زده باشید. حال سطحی معادل یک سانتیمتر مربع‌را در نقطه‌ای بین خود و دیوار در نظر آورید و حساب کنید که چند عدد نخود از دو طرف از این سطح عبور کرده است. مسلم است که همواره معادل ۱۶ خواهد بود.

حال به‌بینیم اگر امواج از دیوار منعکس شود وضع چگونه خواهد بود؟

بیائید با دقت به شکل صفحه توجه کنیم. در آغاز موج بدون برخورد بمانعی بسوی راست انتشار مییابد (A)، سپس به دیوار برخورده و منعکس میگردد (B)، لکن ما نتیجه مرکب دو موج را مشاهده میکنیم نه دو موج جداگانه که یکی مستقیم و دیگری انعکاسی است. این نتیجه بدان بستگی دارد که موج چگونه بدیوار بر خورد کند (B). گاهی چنان ناموفق برخورد میکند که خود خود را خاموش میسازد (C). بویژه همین قابلیت موج که میتواند خود خود را خاموش سازد تداخل یا انترفرانس نامیده میشود. با همین نشانه موج است که همیشه بدون اشتباه میتوان آنرا از سیل ذرات تمیز داد.



یک نشانه دیگر موج که آنرا از ذرات متمایز میسازد، دیفراکسیون یا پراش است و یا ساده‌تر گفته شود، همان قابلیت انحراف در برخورد بمانع است بشرط آنکه اندازه‌های آن با طول موج قابل مقایسه باشد، نکته دیگر، اینکه اگر مانع زیاد بزرگ نباشد موجی که به آن برخورد میکند در اثر همین پراش بدو نیم شده و مانع‌را از دو طرف دور زده و مجدداً جمع میگردد و درست همانند مرکب شدن امواج مستقیم و منعکسه، خودرا خاموش میسازد.

بویژه بدین طریق یعنی با کشف انترفرانس و پراش (دیفراکسیون) در تشعشعات ایکس و اشکال دیگر آن بود که ثابت شد همه آنها موج هستند فقط با طولهای مختلف. طول موج تشعشعات همان نشانه اصلی است که بوسیله آن ما از لحاظ کمی فرق اشکال گوناگون تشعشعات الکترومغناطیسی‌را تمیز میدهیم.

طویل‌ترین طول در امواج رادیوئی از چند کیلومتر تا چند سانتیمتر است.

در اشعه حرارتی این طول کمتر است یعنی از یک سانتیمتر تا $۱۰^{-۲}$ سانتیمتر میباشد.

از آنهم کوتاه‌تر امواج قابل رؤیت نور است که تقریباً از ۴×۱۰^{-۵} تا ۸×۱۰^{-۵} سانتیمتر است.

کوتاه‌ترین موج را اشعه ایکس دارا هستند که معادل $۱۰^{-۷}$ تا $۱۰^{-۹}$ سانتیمتر است.

کلیه این انواع تشعشعات با یک سرعت انتشار میابند — با سرعت نور یعنی $c = ۳\times۱۰^{۱۰}\ \text{cm/sec}$. از اینجا طبق فرمول $\nu = \frac{c}{\lambda}$ بسهولت میتوان بسامد هر نوع تشعشعاتی را محاسبه کرد. مسلم است که برای اشعه ایکس از همه زیادتر و برای امواج رادیوئی کمتر خواهد بود.

نکته بسیار مهمی که باید متوجه بود اینست که هر تشعشعی را که در نظر بگیریم — یک سینوسوئید همانطوریکه در شکل نموده شده است نبوده بلکه یک جریان فیزیکی است که خصوصیات اساسی آنرا (مثلا تناوبی بودن) خوشبختانه میتوان بزبان چنین مدلهای ساده‌ای بیان داشت.

هر یک از اشکال تشعشع دارای خصوصیات خود ویژه‌ای میباشد. عجالتاً تمام دقت خودرا روی آن شکلی معطوف میداریم که بیشتر برای ما مهم بوده و عادی است — یعنی تشعشعات خورشیدی. از آنجا که این نیز از همان قانونی تبعیت میکند که هر نوع تشعشعاتی، پس در آینده کمک خواهد کرد تا قانون تشعشعات حرارتی‌را که اتفاقاً در تاریخچه مکانیک کوانتائی اهمیت دارد بفهمیم.

وقتی شما در زیر آفتاب گرم میشوید، مسلماً در باره اینکه طول موج اشعه آن چقدر است فکر نمیکنید. شاید گاهی شما از خود سؤال کنید علت سوختگی در راه پیمائی‌های کوهستانی چیست و چرا شب هنگام نمیتوان بدن را سیاه و برنزه کرد؟ آیزک نیوتن* (۱۶۴۳ — ۱۷۲۷) در انگلستان میزیست که آفتاب زیادی هم ندارد، ولی با

---

* Isaac Newton

همه این روی این مسئله فکر میکرد که نور آفتاب از چه تشکیل شده است. او در سال ۱۶۶۴ بدنبال پرفسور طب در پراگ مارکوس مارتسی — تجربه‌ای را انجام داد که اکنون هر شاگرد دبستانی با آن آشناست. او با عبور دادن اشعه آفتاب از منشور، مشاهده کرد که در آنسوی منشور روی دیوار قوس‌قزح نقش بست یعنی نور آفتاب تجزیه شده بود.

هر یک از رنگهای طیف قوس قزح متناظر با طول موج خود در تشعشعات آفتاب است. مثلاً بلندترین طول موج ۷×۱۰^{-۵} سانتیمتر خاص رنگ قرمز، ۵×۱۰^{-۵} از آن رنگ سبز و ۴×۱۰^{-۵} متعلق به رنگ بنفش میباشد. در تجزیه نوری آفتاب علاوه بر اشعه مرئی، البته اشعه دیگری نیز وجود دارد از جمله اشعه فرو سرخ (طول موج آنها از قرمز هم زیادتر است) و اشعه فرا بنفش (طول موج آنها از بنفش کوتاه‌تر است). بنابراین بسامد (فرکانس) اشعه فرابنفش زیادترین و فروسرخ کمترین میباشد.

در طیف تشعشعات، درخشانی نسبی رنگ‌های مختلف یکسان نبوده و وابسته به دمای جسم متشعشع میباشد: مثلاً در تشعشعات خورشیدی بیش از همه اشعه زرد وجود دارد. بدین ترتیب تجزیه نوری هرگونه تشعشعاتی نشان میدهد که: اولاً چه اشعه‌ای در آن وجود دارد و ثانیاً چقدر هستند.

اشعه آفتاب حین عبور از جو زمین ترکیب طیفیش تغییر می‌یابد، زیرا اشعه مختلف طیف آفتاب‌را جو بطور یکسان جذب نمیکند، مثلاً اشعه فرابنفش‌را بیش از همه جذب میکند و چون در کوهستانات قشر هوا کمتر است پس مقدار اشعه فرابنفش در طیف زیادتر خواهد بود و بهمین جهت هم در آنجا زودتر میتوان سوخت و برونزه شد تا در ته دره.

این موضوع اگر چه بخودی خود آشکار است، معذلک ما یادآور شدیم، زیرا برای جزئیات بعدی نظیر اینکه علت سوختگی از آفتاب همانا اشعه فرابنفش است و اینکه بویژه آنها علت این امر هستند نه اشعه سبز یا قرمز دارای اهمیت است. از طرف دیگر برای آنکه بتوان سوزاند، باید در هر صورت یک نوع انرژی مصرف کرد. از همین جاست که میگوئیم زیادترین انرژی را اسواجی با خود حمل میکنند

که بسامد بیشتری دارند یعنی اشعه فرابنفش و نه فرو سرخ (اگر چه بویژه آنها اشعه حرارتی نامیده میشوند). این یک نتیجه‌گیری بسیار مهمی است.

بدین ترتیب هر جسمی از اتمهائی تشکیل شده که ما عجالتاً بصورت گویچه‌هائی تجسمشان میکنیم بقطر ۸-۱۰ سانتیمتر با وزن‌های مختلف از ۲۲-۱۰ تا ۲۴-۱۰ گرم. آنها با سرعت زیادی حرکت کرده، نوسان میکنند و با یکدیگر برخورد مینمایند و در عین حال حرکت آنها با افزایش دمای جسم تشدید می‌یابد. این حرکت دمائی اتمها به پدیده کاملاً تازه تشعشع دمائی منجر میشود که خواص آن عجالتاً برای ما معلوم نیست.

برای آگاهی از آنها به تجربه قبلی که میله آهن‌را در کوره گرم میکردیم باز گردیم. در آنجا دیدیم که هرچه کوره گرمتر باشد، میله آهنی دمای بیشتری پخش میکرد. واضح است که این حقیقت‌را همیشه میدانسته‌اند، اما تنها ژزف استفان* (۱۸۳۵ — ۱۸۹۳) بود که در سال ۱۸۷۹ بطور عملی و تجربی و لودویک ادوارد بلتسمان** (۱۸۴۴ — ۱۹۰۶) در سال ۱۸۸۴ بطور نظری قانون کمی آنرا ثابت کردند. آشکار گردید که با افزایش دما مقدار کلی دمای متشعشعه نیز بمقدار زیادی فزونی مییابد — بمیزان قوه چهارم دمای مطلق جسم.

حالا چه خواهد شد اگر در کوره بجای میله آهنی قطعه سنگی بگذاریم، همانکاریکه در حمام‌های سابق روسیه معمول بود؟ آیا تشعشع انرژی از آن با مقایسه با میله آهن فرقی خواهد کرد؟ در سال ۱۸۵۹ گوستاو روبرت کرشهف ثابت کرد که نه، فرقی نمیکند بشرط آنکه دمای کوره در هر دو حالت یکسان باشد. او حتی یک قدری هم بیشتر ثابت کرد، اما برای آنکه این یک قدری را بفهمیم، باید داستان‌را در اینجا متوقف سازیم و با دقت بیشتری به سیل تشعشعات توجه کنیم که از جسم گرم شده پراکنده میشود.

این سیل نیز مثل نور خورشید از یک نوع نیست، هر تشعشع

---

* Josef Stefan

** Ludwig Boltzmann

دمائی، اولاً تشکیل شده است از شعاع هائی باطول موج های مختلف ثانیاً مقدار آنها در سیل عمومی تشعشعات متفاوت است. اگر این دو خصوصیت را ما میدانیم، پس میتوانیم تصدیق کنیم که اجزاء طیف تشعشعات برای ما آشکار است.

بمنظور تاکید این واقعیت که سهم تشعشعاتی با بسامد ν در سیل عمومی تشعشعات به دمای T بستگی دارد، معمولاً آنرا بصورت فرمول چنین مینویسند

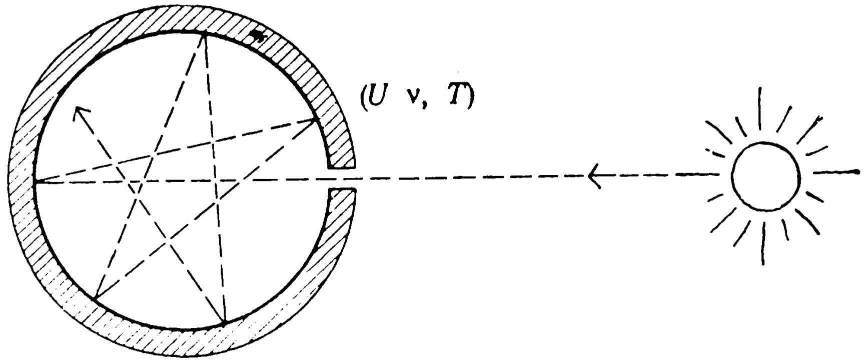
$$U = U\ (\nu, T)$$

البته اگر ما دمای جسم‌را تغییر دهیم، آنوقت اجزاء طیف تشعشعات دمائی آن نیز تغییر خواهد یافت. قانون کمی این تغییرات را ویلهلم وین (۱۸٦٤ — ۱۹۲۸) در سال ۱۸۹۳ ثابت کرد.

اما اجسام مختلف حتی تحت تاثیر دمای یکسان، به انواع گوناگون تشعشع میکنند. البته مشاهده این امر مشکل نیست، کافی است در تاریکی مثلاً گویچه‌هائی از آهن و سنگ‌را توأماً حرارت دهیم. اما بزودی معلوم شد که اگر بجای گویچه‌های تو پر گویچه‌های تو خالی را حرارت دهیم و تشعشعات حاصله را از سوراخ کوچکی در بدنه آنها نظاره کنیم، آنگاه خواهیم دید که ترکیب طیفی این تشعشعات دیگر به جنس گویچه‌ها بستگی نخواهد داشت. چنین طیفی را طیف جسم سیاه مطلق نامیده‌اند.

منشأ این نامگذاری تا اندازه‌ای غیر عادی بسهولت قابل فهم است. پیش خود چنین مجسم کنید که بجای آنکه گویچه‌ها را حرارت دهیم، بر عکس از خارج آنها را روشن سازیم. آنوقت همواره در برابر خود سوراخ سیاهی را مشاهده خواهیم کرد که به جنس گویچه بستگی ندارد. علت هم واضح است چون کلیه اشعه‌ای که بسطح داخلی آن می‌تابد در آنجا مکرر در مکرر منعکس گردیده و تقریبا خارج نمیشود.

برای چنین جسم مطلقا سیاهی مثال زنده حقیقی همانا بخاری معمولی و یا بهتر از آن کوره زیمنس مارتن است. براستی اگر شما بداخل کوره مارتن نگاه کرده باشید، مسلماً متوجه این پدیده جالب شده‌ئید که از سوراخ آن نور یک‌نواختی خارج میشود که نمیگذارد جزئیات



اشیاء درون کوره را دید. حالا دیگر اطلاعات ما درباره تشعشعات اجازه میدهد که این واقعیت را هم بفهمیم.

دو گویچه یک اندازه که یکی از آهن و دیگری از سنگ باشد در نور آفتاب بخوبی از یکدیگر تمیز داده میشوند — یکی خیلی بیشتر و دیگری خیلی کمتر می‌درخشد: یعنی گویچه آهنی بمراتب بیش از گویچه سنگی اشعه را منعکس میسازد. حالا اگر این دو گویچه‌را در تاریکی حرارت دهیم مشکل نخواهد بود امتحان کنیم که گویچه سنگی بیشتر از آهنی تشعشع میکند. (این درست یکی از عللی است که چرا در حمامهای آن زمان روسیه گرم کردن قلوه سنگ‌را با صرفه‌تر از قطعات آهنی دانسته‌اند).

اگر این گویچه‌ها را بیاندازیم بداخل کوره که در آنجا آنها نه تنها حرارت میبینند و خودشان هم تشعشع میکنند، بلکه همچنین تشعشعات دیگر اجسام را جذب و منعکس میکنند ما دو گویچه کاملاً یکسان خواهیم دید. چرا؟ برای آنکه اگر گویچه سنگی زیادتر اشعه «خود» را متشعشع میسازد، در عوض بیشتر هم سال «دیگری» را جذب میکند، و گویچه آهنی که کمتر اشعه «خود» را متشعشع میکند در عوض زیادتر سال «دیگری» را بازتاب می‌نماید. به این جهت سیل کلی اشعه («خودی» و «دیگری») از هر دو گویچه مساوی است و باز هم بهمین علت است که نه تنها نمیتوان آنهارا از یکدیگر فرق داد حتی از دیواره کوره‌ای هم که در آن قرار دارند.

درست همین قانون دقیق بود که کرشهف در سال ۱۸۵۹ کشف کرد: نسبت قابلیت تشعشع جسم به قابلیت جذب آن یک تابع عمومی است: $U = U\ (\nu, T)$ که به طبیعت جسم بستگی ندارد.

در تابع طیفی $U=U(\nu, T)$ (به همین نام خوانده میشود) شامل تقریباً کلیه اطلاعات در باره خواص تشعشع دمائی است، از جمله رنگ جسم حرارت دیده معرف موجی است که بیش از همه متشعشع میشود.

اهمیت تابع $U=U(\nu, T)$ در همان زمان کرشهف فوراً استنباط گردید، ولی طی ۴۰ سال ممکن نگشت برای آن فرمولی پیدا کنند که لااقل منحنی به دست آمده را بطور صحیح توصیف نماید. ولی این تلاشها هرگز قطع نگردید، بنظر می‌آید که جستجوی مطلق همیشه برای تفکر بشری جالب است.

ما طی داستان خود به آستانه تحولی در فیزیک نزدیک شده ایم که ماکس پلانک* (۱۸۵۸ — ۱۹۴۷) انجام داد. اما قبل از آنکه به تشریح اصل آن بپردازیم، بار دیگر یک خود ویژه‌گی تشعشعات دمائی‌را یادآور میشویم که قبلاً هم از آن سخن گفته‌ایم و آن: تغییر رنگ جسم هنگام گرم شدن است.

تا وقتیکه دمای جسم زیاد نیست اگرچه تشعشع میکند ولی رنگین نمیشود یعنی فقط امواج دمائی و فروسرخ را که قابل رویت نیستند پخش میکند. با افزایش دما، جسم شروع برنگین شدن میکند: ابتدا برنگ سرخ، سپس پرتقالی، زرد و الی آخر در می‌آید. مثلاً در حرارت معادل ۶ هزار درجه سانتیگراد بیش از همه اشعه زرد متشعشع میشود. ضمناً با همین نشانه بود که معین ساختند که سطح خورشید دارای چنین دمائی است.

به این نکته توجه کنید: در حادثه سوختگی از آفتاب، آن تشعشعات انرژی بیشتری میداد که بسامد بیشتری داشت. پس در حالت کنونی چه باید گفت؟ باید گفت هر قدر ما انرژی بیشتری برای گرم کردن جسم مصرف کنیم همانقدر هم بسامد امواج متشعشعه بیشتر خواهد بود. یعنی: بین بسامد و انرژی تشعشعات یک نوع رابطه‌ای وجود دارد.

Max Planck *

کوانت

در اواخر سده گذشته ماکس پلانک در جستجوی یک فرمول عمومی برای طیف جسم سیاه مطلق بود. برای تامین چنین فکری این فرمول چگونه باید باشد؟ تشعشعات دمائی نه تنها زائیده حرکت اتمهاست بلکه خود نیز بر آنها تاثیر میکند، چونکه خود حامل انرژی است. در درون جسم مطلقا سیاه در نتیجه این تاثیرات متقابله تعادل دمائی بر قرار میگردد: یعنی هر قدر اتمها از خارج دما دریافت میدارند، تشعشعات هم همانقدر انرژی از آنها گرفته همراه میبرند. پلانک از روی تئوری سینتیک ساده فهمید که انرژی متوسط نوسانات اتمی E_{osc} متناسب است با دمای مطلق T

$$E_{\text{osc}} = kT$$

که در آن $k = ۱,۳۸ \times ۱۰^{-۱۶}$ erg/C° ضریب تناسب است که ثابت بولتسمان (Boltzmann) نامیده میشود.

اکنون بخاطر بیاوریم که انرژی تشعشعات بموازات بسامد آن، افزایش می‌یابد، البته این مطلب را پلانک هم میدانست. اما مسئله آنجاست که چگونه افزایش مییابد؟ پلانک ساده‌ترین شکل آنرا فرض کرد که انرژی تشعشعات E_{emi} متناسب با بسامد باشد یعنی

$$E_{\text{emi}} = h\,\nu$$

که در آن h ضریب تناسب دیگری است. (این فکر بقدری ساده است که نمیشود با مفهوم ساده‌تری آنرا بیان داشت. در حالیکه بویژه تفکرات داهیانه با چنین سادگی‌های کلاسیک مشخص میگردند).

با این فرضیه بود که ماکس پلانک توانست فرمولی برای تابع طیفی $U = U(\nu, T)$ حدس بزند. بله! حدس‌زد. البته نباید فکر کرد مسئله به این سادگی بود. پلانک روی فرمول خود دو سال زحمت کشید.

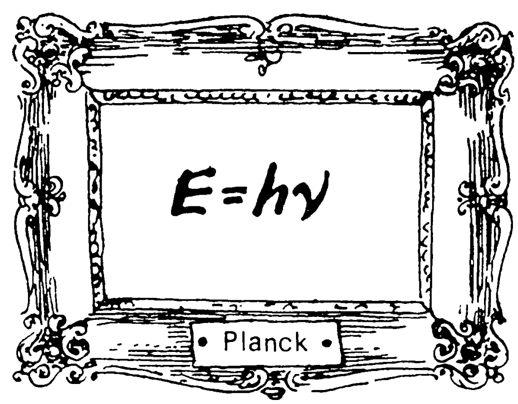
در ۱۹ اکتبر سال ۱۹۰۰ اجلاس نوبتی جمعیت فیزیک‌دانان آلمان تشکیل گردید که طی آن آزمایش‌کاران روبنس و کورلبائوم در باره اندازه‌گیری‌های نوین و دقیق طیف جسم سیاه مطلق سخنرانی

کردند. پس از سخنرانی‌ها جلسات بحث و مباحثه آغاز شد که طی آن آزمایش کاران اظهار نا خرسندی کردند که هیچیک از تئوری‌ها نمیتواند نتایجی‌را که آنان بدست آورده‌اند توجیه نماید. پلانک بدانان پیشنهاد کرد که از فرمول وی استفاده کنند. همان شب روبنس اندازه‌گیری‌های خود را با فرمول پلانک مقایسه کرد و متقاعد شد که فرمول صحیح است تا جائیکه قادر است حتی کوچکترین جزئیات طیف جسم سیاه مطلق‌را تشریح نماید. صبحگاهان او همکار و نزدیکترین دوست خود پلانک را از این موضوع آگاه ساخت و موفقیت او را شادباش گفت.

اما پلانک تئوریسین بود و تنها برای نتایج قطعی تئوری ارزشی قائل نبود بلکه به تکامل درونی آن نیز ارج میداد. ضمناً او هنوز متوجه نبود که قانون طبیعی تازه‌ای کشف کرده است و تصور میکرد میتوان آنرا از همان معلومات گذشته استنتاج کرد. بهمین جهت هم او سعی داشت قانون تشعشعات‌را با ملاک قرار دادن قضایای ساده تئوری سینتیک ساده و ترمودینامیک از لحاظ نظری مبرهن سازد. سرانجام پس از دو ماه کار مداوم و صرف نیروی فوق‌العاده شدید، به این کار موفق شد، اما به چه بهائی!

او در جریان محاسبات خود ناچار بود فرض کند که تشعشعات با حصه‌ها (یا با کوانت‌ها) تابیده میشوند که مقدار آنها را درست با همان فرمول $E = h\nu$ که چندی قبل خودش حدس زده بود میتوان معین کرد.

در این صورت و فقط در این صورت بود که ممکن گردید فرمول صحیح طیف تشعشعات بدست آید.



تناسب $E = h\nu$ را منطقاً نمیتوان ثابت کرد، همانطور که قانون جاذبه جهانی را نمیتوان ستنند ساخت. آنها موجودند، همانگونه که گیتی برپاست. بعلاوه با قبول آنهاست که بکمکشان میتوان دیگر پدیده‌های طبیعت را توضیح داد و از جمله طیف جسم سیاه مطلق را.

فرضیه پلانک بصورت ظاهر بی‌اندازه روشن و ساده بود، اما در واقع امر با کلیه تجربیات پیشین فیزیک‌دانان و احساسات درونی که سالها پرورش یافته بود، تناقض داشت. بیاد بیاورید که ما بارها متذکر شدیم که تشعشعات — یک جریان موجی است و اگر چنین است پس انرژی در این جریان باید بطور لا ینقطع منتقل شود نه با حصه‌ها یعنی با کوانت‌ها. این تناقض برطرف نشدنی را هیچکس مثل خود پلانک درک نکرد. هنگامیکه او فرمول خود را پیدا کرد ۴۲ سال بیشتر نداشت، اما تقریباً در تمام بقیه عمرش از عدم کمال منطقی تئوری که خود آفریده بود رنج برد. این حس در فیزیک دانان نسل‌های بعدی سستی یافت زیرا آنان دیگر نتایج آماده‌ای را در دست داشتند و آموخته بودند که چگونه باید بطرز نوین اندیشید.

اما پلانک دست پرورده سنن فیزیک کلاسیک و به تمام عیار متعلق به دنیای جداً بی‌شتابی بود. ولی چنان پیش‌آمد کرد که: با حل معمای چندین ساله‌ی تئوری تشعشعات، او هم‌آهنگی منطقی فیزیک کلاسیک را نقض کند. «آیا دست یافتن به حل این مسئله که در حقیقت مسئله خیلی محدود و غیر کلی بود، بسیار گران تمام نشد؟». این برای ماکس پلانک بسیار متزلزل کننده بود. در اثر همین هم بود که طی سخنرانی خود در مراسم اعطای جایزه نوبل به او یادآور شد که قبول واقعیت کوانت برای او بمثابه «...نقض پیوستگی کلیه ارتباطات علتی بود».

فقط خیلی بعدها یعنی در سال ۱۹۲۷ بود که دانش نوین — مکانیک کوانتائی توانست توضیح دهد که در اینجا هیچگونه تناقضی وجود ندارد. ولی تا فرا رسیدن آن زمان هنوز خیلی راه بود.

در ۱۴ دسامبر سال ۱۹۰۰ در جلسه جمعیت فیزیک‌دانان آلمان بود که دانش نوین یعنی آموزش کوانت پا بعرصه ظهور نهاد. پرفسور فیزیک ماکس کارل ارنست لودویک پلانک در برابر عده معدودی شنونده گزارش فوق‌العاده کار شناسانه‌ای را بسردی و

بسیار عادی قرائت کرد که عنوانش چنین بود: «درباره تئوری قانون تقسیم انرژی در طیف عادی».

در آن روز کم بودند کسانی که پی به اهمیت موقع برده باشند، زیرا یا پسی هوا و یا تناقض منطقی تئوری مسلماً شنوندگان را بیشتر تحت تاثیر قرار داده بود. اعترافات بعداً صورت گرفت. و بعدها دریافتند که ثابت پلانک h چه ارزشی برای جهان اتم دارد. تصادفاً مقدار آنهم بسیار کوچک است

$$h = 6{,}62 \times 10^{-27}\ \mathrm{erg} \times \mathrm{s}$$

ولی چنان دریچه‌ای بسوی دنیای پدیده‌های اتمی گشود که همواره وقتی بخواهیم از دنیای عادی و کلاسیک به دنیای غیرعادی و کوانتائی گام نهیم، حتماً باید از این دریچه تنگ بگذریم.

سیب دمکریتوس

عجالتاً ما درباره اتم اطلاعات کمی داریم ولی همین اطلاعات برای حل مسئله دمکریتوس کافی است. مسئله این بود که: آیا کار تقسیم سیب را خیلی باید ادامه داد تا به «اتم» آن رسید؟

فرض کنیم دمکریتوس سیب بزرگی در دست داشت که قطر آن ده سانتیمتر بود. در اینصورت حجم آن تقریباً معادل $V = 10^3\ \mathrm{cm}^3$ که در هر تقسیم دو مرتبه کوچک میشود و حجم آن پس از n بار تقسیم به V_n برسد. پس میتوان نوشت:

$$V_n = \frac{V}{2^n} = \frac{10^3}{2^n} = \frac{10^3}{10^{0.3 \times n}} = 10^{3 - 0.3 \times n}$$

طبق ارزیابی لشمیت حجم اتم تقریباً معادل است با

$$(10^{-8}\ cm)^3 = 10^{-24}\ cm^3$$

بنابراین کار تقسیم وقتی متوقف خواهد گشت که حجم V_n معادل حجم اتم گردد یعنی:

$$10^{3-0.3n} = 10^{-24}$$

از اینجا بسهولت میتوان مقدار $n = 90$ را بدست آورد یعنی دمکریتوس در نودمین مرحله تقسیم سیب به هدف خود میرسید، خیلی هم زیاد نیست، درست نمیگوئیم؟

حتی اگر در نظر آوریم که اگر او در این میان فکر میکرد و به آرامی تقسیم سیب را ادامه میداد، آنوقت اقلاً نیم ساعت وقت برایش کافی بود.

آیزک نیوتن و اتم

«من تصور میکنم که احتمال دارد خداوند در ابتدا ماده را بصورت ذراتی یک پارچه، جسیم، جامد، غیر قابل نفوذ و متحرک با چنان ابعاد و شکلی و با چنان دیگر خواص و در چنان تناسبی نسبت به فضا آفریده باشد که به بهترین وجهی بهدفی که برای آن آنهارا آفریده است خدمت کنند و اینکه این ساده‌ترین ذرات سخت بوده و از هر جسم دیگری که از آنها تشکیل شود فوق‌العاده با ثبات ترند و حتی آنقدر با ثباتند که هرگز فرسوده نخواهند شد و بقطعات تقسیم نخواهند گشت و سر انجام اینکه هیچ نیروئی قادر نیست آنچه‌را که خداوند خود در نخستین روز آفرینش بوجود آورده است تقسیم کند...».

«بنظر من مسلم است که این ذرات نه فقط دارای اینرسی توام با چنین قوانین غیر فعال حرکت هستند که نتیجه طبیعی این نیروها میباشد بلکه آنها موافق اصول مؤثر معینی نظیر قوه جاذبه اجسام، اصولی که انگیزه تحریک و پیوستگی جسم میباشند حرکت میکنند. این اصول را من چون کیفیت تصوری که برای بدست آوردن نتایج حاصله از شکل خود ویژه اشیاء فرض شده باشد در نظر نگرفته بلکه آنهارا چون قوانین همگانی طبیعت که لازمه خود موجودیت این اشیاء

است در نظر میگیرم و صحت آنها بوسیله پدیده‌ها برایمان مسلم میگردد اگر چه علت آنها هنوز کشف نگردیده است».

پلانک و کوانت

ماکس پلانک در جلسه‌ای که دوم ژوئن سال ۱۹۲۰ در فرهنگستان سوئد در شهر استکهلم بمناسبت اعطاء جایزه نوبل به وی تشکیل شده بود سخنرانی تحت عنوان «پیدایش و رشد تدریجی نظریه کوانت» ایراد داشت. اینک بتذکر قسمتهائی از آن میپردازیم.

«شکست کلیه تلاشها برای برقراری پلی بر روی ورطه‌ای که پیش آمده بود بدان منجر شد که دیگر شکی نمانده بود که: یا کوانتای عمل یک کمیت ساختگی است و در این صورت کلیه نتایج بدست آمده از قانون تشعشعات اصولاً واهی و فقط نمایشگر یک بازی توخالی با فرمول‌ها خواهد بود، و یا استخراج این قانون بر پایه اندیشه فیزیکی صحیح و درستی مبتنی است که در آنصورت کوانتای عمل باید در فیزیک نقش اساسی‌را ایفا کند که در آنصورت پیدایش آن یک چیز بکلی تازه و تماماً بیمانندی‌را بوجود آورد که بنظر میرسد احیاء اساسی‌ترین تفکرات فیزیکی ما لازم بود چون که از زمان اثبات تجزیه مقادیر بی نهایت کوچک توسط نیوتون و لایبنیتز بر فرضیه پیوستگی کلیه ارتباطات علتی آرام گرفته است».

«...آنچه امروزه بنظرما نامفهوم می‌آید یک روزی از دید گاهی عالیتر، بویژه ساده و هم آهنگ بنظر خواهد رسید. اما تا قبل از دست یافتن به این هدف، مسئله کوانتای عمل از برانگیختن و بارور کردن افکار پژوهش‌کنندگان باز نخواهد نشست و هرچه در حل آن مشکلات بیشتری پیدا شود، همانقدر برای توسعه و تعمیق کلیه دانش فیزیکی ما اهمیت بیشتری خواهد داشت».

پلانک اگرچه اهمیت کشف خودرا بسیار خوب درک میکرد (به پسرش میگفت «کشف امروزی من همان اهمیتی‌را دارد که کشف نیوتن») ولی هرگز آنرا بر سر زبانها نمی‌انداخت. شاید بهمین علت هم چنین اشتباهی رسوخ یافت که گویا پلانک «نمیدانست چه کرده است». این قسمتها از نطق اورا که در فوق ذکر کردیم، باردیگر از این اشتباهات پرده برمیگیرد.

فصل دوم

شعاع ◇ اتم ◇ الکترون ◇ اتم، الکترون، شعاع

آنچه از تاریخ بشریت برای ما جالب است نام پادشاهان و دوران حکمرانیشان نیست — اگر چه بدون آن بطور کلی تاریخی وجود نخواهد داشت، آنچه ما از تاریخ میخواهیم امکان تحقیق و بررسی پیدایش و پیشرفت و افول تمدن‌ها، تکامل و ماهیت عقاید و نظریاتی که طی صدها سال بر اراده افراد فرمانروائی کرده و معرف روابط متقابله آنان بوده و بالاخره ما خواهان آنیم که علل تجدید عقاید و چگونگی فروکش کردن آنان را بدانیم.

درست عین همین است تاریخ فیزیک که یک پذیرش ساده واقعیات نبوده بلکه تصویر بهم پیوسته پیدایش و پیشرفت نظریات فیزیکی است که بدون آن دانش بصورت گرد آورده آزادانه‌ای از فرمول‌ها و مفاهیم در می آمد.

حقایق فقط آنوقت ثمربخشند که بین آنها ارتباط درونی وجود داشته باشد و این ارتباط را هم فقط در جریان پیشرفت میتوان تحقیق و بررسی کرد.

حتی وحشی‌ها در پائین‌ترین مرحله پیشرفت بازهم دارای تاریخ ویژه خود میباشند. با مفقود شدن تاریخ، ارتباط زمانی از بین میرود، درست همچنانکه افراد با از دست دادن حافظه، بطور بازگشت نا پذیری رو به زوال میروند.

برای یک نفر عالم فیزیک تاریخ دانشش — همان عنصر آموزشی واجبی است که بدون آن برای همیشه بصورت یک نفر پیشه‌ور باقی خواهد ماند و برای دیگر مردم بمثابه یک قسمت عظیم از تاریخ سرنوشت بشریت است که اغلب اوقات همانقدر غیرعادی است که سرنوشت پادشاهان و یا لشکرکشان.

برای درک کمال و زیبائی مفاهیم فیزیک معاصر، باید سر چشمه و سیر پیشرفت آنهارا مورد مطالعه و بررسی قرار داد. تنها از آن پس است که آنها درست همانقدر بشما نزدیک و قابل درک میگردند که میهن و تاریخ و فرهنگش که با شیر مادر جذب کرده‌ئید.

ریاضی‌دان معروف فلیکس کلین میگوید: «سریعترین و مطمئن‌ترین راه برای فرا گرفتن هر علمی آنست که درست همان راهی‌را طی کنیم که سراسر پیشرفت آن علم پیموده است». البته این ساده‌ترین راه نخواهد بود، اما جالب‌ترین آنست و ما بویژه همین راه را انتخاب کرده‌ایم.

بعداً بویژه مهم است که تکامل مفاهیم اشعه، اتم، الکترون را مطالعه و بررسی کنیم تا در پایان راه بتوان زیبائی ترکیب آنهارا درک کرد.

اشعه

اگر با دقت بمطالعه اشعه آفتاب بپردازیم ممکن است به آستانه فیزیک کوانتائی برسیم. بسیار محتمل است که این گذر فعلاً قانع کننده بنظر شما نرسد. اما احساس بی اساس بودن که از نخستین آشنائی با تئوری پلانک در انسان ایجاد میشود فریبنده است. فرمول پلانک زائیده تخیلات نیست. این فرمول فقط پس از تجزیه و تحلیل‌های پیگیر و تجربیات دقیق بدست آمده است. البته برای ابداع آن تنها تجزیه و تحلیل کافی نبود بلکه بعلاوه نیروی تفکر و توانائی پرواز در فانتزی‌ها و بالاخره شجاعت مقابله با نتایج غیر منتظره تئوری لازم می‌آید.

تا قبل از پلانک دانشمندانی نظیر رلی، جینس، وین برای توضیح و بیان طیف جسم سیاه مطلق فرمول‌های مختلفی پیشنهاد میکردند. ولی هر بار آزمایش‌کارانی چون اتو لومر (۱۸۶۰ — ۱۹۲۵) و ارنست پرینسهیم (۱۸۵۹ — ۱۹۱۷) پس از اندازه‌گیری‌های دقیق این طیف، فرمول‌هارا بمثابه فرمولهائی ناقص رد میکردند. تنها فرمول پلانک بود که آنهارا قانع کرد: این فرمول بطور شگفت‌انگیزی با نتایج تجربیات آنان وفق میداد، اگرچه از این طریق چیزی روشن‌تر نمیگردید.

اکنون از این فیزیک‌دانان پیروی کنیم و ساخت اشعه خورشیدرا با دقتی بیش از آنچه تا بحال مبذول داشته‌ایم مورد مطالعه قرار دهیم. در آینده ما خواهیم دید که این اشعه اطلاعات فراوانی همراه خود دارند که فقط باید فهمید چگونه باید آنها را خواند.

اگر اشعه آفتاب‌را بر منشور بتابانیم بر روی پرده‌ای که پشت آن قرار دارد طیف نقش می‌بندد — این پدیده‌ای است عادی و طی دویست سال بدان خو گرفته شده بود. در نظر اول حد و مرز دقیقی بین قسمتهای جداگانه طیف وجود ندارد، رنگ قرمز متوالیا در رنگ پرتقالی و رنگ پرتقالی در رنگ زرد و الی آخر محو میشود.

تا زمانیکه هنوز پزشک و شیمی‌دان انگلیسی ویلیام هاید ولاستن (۱۷۶۶ — ۱۸۲۸) طیف‌را با موشکافی مورد مطالعه قرار نداده بود همه همانطور که گفتیم بدان مینگریستند. ولاستون بمنظور این مطالعه دقیق، برای نخستین بار طیف نگاری با شکاف درست کرد و بکمک آن متوجه خطوط تیره رنگی گردید که بدون نظم و ترتیب آشکاری طیف آفتاب را در نقاط مختلف قطع میکردند. او اهمیت ویژه‌ای به آنها نداد و تصور کرد که پدید آمدن آنها یا مربوط به کیفیت منشور و یا مربوط بسر چشمه نور و یا در نتیجه علل فرعی دیگری است. او خطوط‌را فقط از آنجهت جالب میشمرد که رنگهای نوار طیف‌را از یکدیگر جدا میکردند. بعدها این خطوط تیره را بنام محقق واقعی آن و نه نخستین کسی که متوجه آنها گشت، خطوط فراونهوفر نامیدند.

ژزف فراونهوفر* (۱۷۸۷ — ۱۸۲۶) اگر چه دیرپائی نزیست ولی سر نوشت شگفت‌آوری داشت. در یازده سالگی، پس از فوت والدینش، پیش استاد صیقلکاری بشاگردی مشغول شد. کار آنقدر زیاد بود که دیگر وقتی برای مدرسه رفتن نمی‌ماند و بهمین جهت هم تا سن ۱٤ سالگی نه خواندن میدانست و نه نوشتن. روزی از روزها خانه صاحبکارش فروریخت و هنگامیکه فراونهوفر را از زیر آوار بیرون می‌آوردند تصادفاً ولیعهد از آنجا میگذشت و بر جوان رنجور رقت کرد و مبلغ قابل ملاحظه‌ای پول به او اعطاء کرد. ژزف با این پول

Joseph Fraunhofer *

توانست هم دستگاه صیقلکاری برای خودش خریداری کند و هم به تحصیل بپردازد.

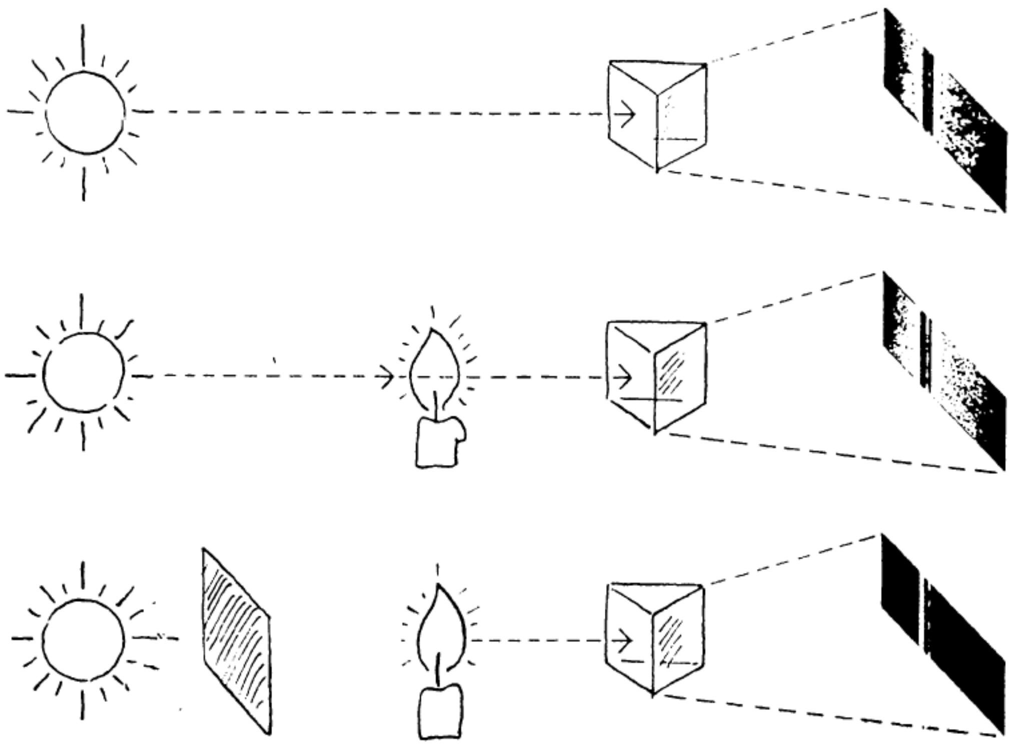
این در زمان جنگهای ناپلئون و تغییرات بزرگ در اروپا بود. ضمناً فراونهوفر در یکی از شهرهای دور از مرکز بنام بندیکت بیرن تحصیل میکرد و بکار صیقل دادن شیشه‌ای بصری هم مشغول بود و در عین حال خود با دقت سرگرم بررسی خطوط تیره طیف آفتاب بود. او تعداد ۵۷٤ تا از آنهارا در طیف شمرد و مهمترین آنهارا نامگذاری کرد و محل دقیق آنهارا در طیف مشخص ساخت. موضع آنها سخت تغییرناپذیر بود از جمله در یک نقطه معین قسمت زرد رنگ طیف و همیشه در همان جا خط دو تائی مشخص تیره‌ای ظاهر میگشت که فراونهوفر آنرا خط D نامید.

باز هم یک واقعیت مهم دیگر را فراونهوفر ثابت کرد: در طیف نور چراغ الکلی درست در همان جا که در طیف آفتاب خط تیره D ظاهر میگردد، همواره خط دوتائی زرد روشنی پدید می‌آید. تنها پس از گذشت سالها بود که اهمیت این واقعیت ارزیابی گردید.

در سال ۱۸۱۹ فراونهوفر به مونیخ آمد و بمقام پرفسوری و عضویت فرهنگستان علوم و تصدی کابینه فیزیک رسید. او با ادامه تحقیقات خود در باره خطوط تیره در طیف آفتاب، یقین حاصل کرد که علت آن خطای باصره نیست بلکه علت خود طبیعت نور آفتاب است. او که از عجایب طبیعت این خطوط تیره برانگیخته شده بود، موفق گردید طی مشاهدات بعدی خود آنهارا در طیف ستارگان زهره و شعری یمانی کشف کند.

ژزف فراونهوفر در سال ۱۸۲۶ وفات کرد و در شهر مونیخ بخاک سپرده شد. بر سنگ گورش نوشته شده است: «Approximavit sidera» یعنی ستارگان‌را نزدیک کرد. اما بهترین سنگ گور برای او همانا کشف اوست.

در میان اکتشافات فراونهوفر اکنون برای ما مهمتر از همه مشاهدات او روی خطوط دوتائی D میباشد. هنگامیکه در سال ۱۸۱٤ او تحقیقات خود را منتشر کرد، مشاهدات او مورد توجه خاصی قرار نگرفت. لکن زحمات او بهدر نرفت و پس از گذشت ٤۳ سال ویلیام سوان ثابت کرد که ظهور خطوط دوتائی زرد D در طیف



چراغ الکلی بعلت وجود فلز سدیم است. (آثار آن‌را در ترکیب نمک طعام تقریباً همیشه میتوان در مواد گوناگون پیدا کرد منجمله در چراغ الکلی). سوان نیز همانند بسیاری از علمای قبل از خود به اهمیت کشف خویش پی نبرد و بهمین جهت هم بطور قطعی نگفت: «این خط متعلق به فلز سدیم است».

تنها پس از گذشت دو سال (در سال ۱۸۵۹) بود که دو نفر پرفسور یکی گوستاو ربرت کرشهف* (۱۸۲٤ — ۱۸۸۷) و دیگری ربرت ویلهلم بونزن** (۱۸۱۱ — ۱۸۹۹) به این فکر ساده و مهم رسیدند. آنها در لابراتوار قدیمی دانشگاه شهر هیدلبرگ تجربه ساده‌ای انجام دادند. تا قبل از آنها از منشور یا فقط نور آفتاب و یا فقط نور چراغ الکلی عبور داده میشد. اما کرشهف و بونزن هر دو نور را در آن واحد از منشور عبور دادند و پدیده‌ای را پیدا کردند که ارزش آنرا دارد که مشروحاً بیان داریم.

Gustav Kirchhoff *

Robert Wilhelm Bunsen **

اگر بر منشور فقط نور آفتاب تابیده شود، آنگاه بر صفحه مدرج طیف نما، طیف آفتاب با خط تیره D در محل عادی خود ظاهر میشود. پژوهشگران شعله چراغ الکلی را بر سر راه شعاع آفتاب قرار دادند و مشاهده کردند که خط تیره D باز هم در همان محل خود باقی می‌ماند، اما وقتیکه بر سر راه نور آفتاب پرده‌ای قرار دادند و منشور را فقط با نور چراغ الکلی روشن کردند، متوجه شدند که بجای خط تیره D، خط زرد درخشان D سدیم بطور وضوح هویدا گشت. کرشهف و بونزن پرده را بعقب کشیدند و دیدند خط D آفتاب مجدداً تیره شد.

بعد آنها نور آفتاب‌را با نور حاصله از فلز گداخته عوض کردند، نتیجه همواره یکی بود و جای خطوط زرد — درخشان را تیره‌گی میگرفت. یعنی همیشه شعله چراغ الکلی آن اشعه‌ای را جذب میکرد که خود آنرا پخش میکرد.

برای آنکه بفهمیم چرا این حادثه آن دو نفر پرفسور را ناراحت کرده بود، باید افکار آنان‌را مورد بررسی قرار دهیم.

خط زرد — درخشان D در طیف نور چراغ الکلی با حضور سدیم ظاهر میشود.

در طیف آفتاب درست در همین نقطه خط تیره‌ای قرار دارد که طبیعتش معلوم نیست.

طیف شعاع حاصله از هر جسم گداخته‌ای بهم پیوسته بوده و در آن خط تیره دیده نمیشود. اما اگر چنین اشعه‌ای را از شعله چراغ الکلی عبور دهیم، آنوقت طیف آن هیچ فرقی با طیف آفتاب نخواهد داشت و در آن نیز خط تیره درست در همان محل بوجود خواهد آمد. حال دیگر تقریباً طبیعت این خط تیره را میدانیم و در هر حال اینقدر میتوانیم حدس بزنیم که متعلق به سدیم است.

پس خط D سدیم بر حسب شرایط مشاهده آن، میتواند زرد — درخشان و یا تیره در زمینه زرد باشد. اما در هر دو حال، وجود این خطوط (فرق نمیکند چه زرد و چه تیره!) معرف آنست که در شعله چراغ الکلی سدیم وجود دارد.

اما از آنجا که چنین خط طیفی شعله چراغ الکلی در نور گذرنده

درست با همان خط تیره نور خورشید تطبق میکند، پس در خورشید هم سدیم وجود دارد.

یادداشت کوتاهی (فقط دو صفحه) که کرشهف در سال ۱۸۵۹ نوشت بیکباره شامل چهار کشف بود:

هر عنصری دارای طیف خطی ویژه خود یعنی مجموعه کاملاً معین و مشخص خطوط میباشد؛

از این خطوط در تجزیه ترکیب مواد نه فقط روی زمین بلکه در ستارگان هم میشود استفاده کرد؛

خورشید تشکیل شده است از هسته‌ای سوزان و آتمسفر نسبتاً سردی از گازهای داغ؛

در خورشید سدیم وجود دارد.

سه کشف نخست بزودی مورد تایید قرار گرفت، از جمله فرضیه درباره ساختمان خورشیدرا هیئت علمی که از طرف فرهنگستان فرانسه برای تحقیقات در هندوستان تشکیل یافته بود تایید کرد. این هیئت علمی بریاست ژانسن در سال ۱۸۶۸ طی تحقیقات خود در هند متوجه گشت که هنگام کسوف کامل یعنی لحظه‌ای که هسته گداخته خورشیدرا سایه ماه می‌پوشاند و فقط هاله آن می‌درخشد — کلیه خطوط تیره طیف آفتاب بارنگ خیره کننده‌ای میدرخشند.

دومین فرضیه‌را هم خود کرشهف و بونزن در سال بعد نه تنها تایید کردند بلکه حتی برای کشف دو عنصر جدید — روبیدیم * و سزیم ** مورد استفاده قرار دادند.

بعدها از این مشاهدات ساده روی خط دوتائی زرد D سدیم تجزیه طیفی زائیده شد که بکمک آن ما اکنون میتوانیم ترکیب شیمیائی کهکشانهای دور دست افلاکی‌را بدانیم، دمای ستارگان و سرعت گردش آنان‌را بسنجیم و خیلی چیزهای دیگر.

تمام اینها واقعاً جالبند، اما اکنون مهمتر از همه آنست که بدانیم: کشفیات کرشهف و بونزن به دانش اتمی چه داد و با

Rb — Rubidium *

Cs — Caesium **

آنچه ما قبلاً در خصوص اتم میدانستیم چه ارتباطی دارد؟

ما اکنون دو نوع طیف میشناسیم: یکی طیف متصل (یا دمائی) و دیگری طیف خطی.

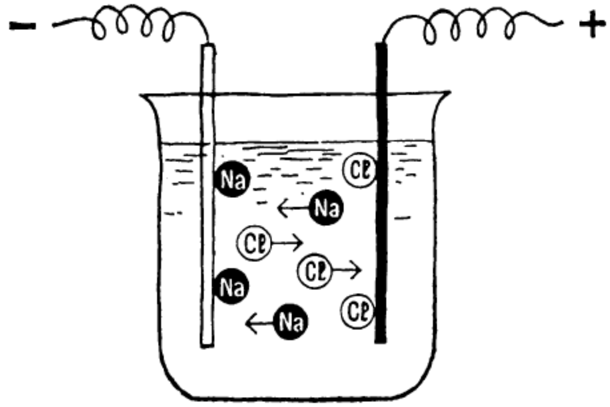
طیف دمائی شامل کلیه طول موج‌هاست و هنگامی تشعشع می‌یابد که جسم سختی را گرم کنیم و در ضمن به طبیعت آن جسم بستگی ندارد.

طیف خطی مرکب است از دسته‌های مجزای خطوط گوناگونی که هنگام گرم کردن گازها و بخارات (آنوقتی که تاثیرات متقابله بین اتم‌ها کم است) پدید می‌آید و آنچه بویژه اهمیت دارد آنست که این دسته خطوط برای هیچیک از عناصر تکرار نمیشود. علاوه براین طیف خطی عناصر به نوع ترکیب شیمیائی که از آن عناصر تشکیل یافته است بستگی ندارد. بنابراین علل طیفی آنهارا باید در خواص اتمی آنها جستجو کرد.

این موضوع را که شکل طیف خطی، عناصررا بطور مشخص و کامل معین میسازد، بزودی همگان پذیرفتند ولی اینرا که طیف معرف اتمهای مجزا است خیلی زود درک نکردند، فقط در سال ۱۸۷٤ در اثر خدمات ستاره‌شناس مشهور انگلیسی نورمان لوکر (۱۸۳٦ — ۱۹۲۰) آنرا در یافتند (اگر چه همین فکر را قبلا هم ماکسول در ۱۸٦۰ و بلتزمان در ۱۸٦٦ بیان داشته بودند). اما وقتی هم که فهمیدند بلافاصله به این نتیجه اجتناب‌ناپذیر رسیدند که: مادام که درون اتمهای مجزا پدید آورنده طیف خطی است، پس اتم باید ساختمانی یعنی اجزائی داشته باشد!

اتم‌ها

در سال ۱۸٦۵ هنگامیکه آثار ژزف لشمیت منتشر گشت، از اتم اطلاعات ناچیزی در دست بود مثلاً آنرا بصورت گویچه سختی پیش خود مجسم میکردند با اندازه تقریبا $۱۰^{-۸}$ سانتیمتر و وزنی از $۱۰^{-۲٤}$ تا $۱۰^{-۲۲}$ گرم. برای هر یک از چنین گویچه‌هائی میتوان «وزن اتمی» نوشت که عدد آن نشان دهنده آنست که چند مرتبه از اتم



هیدرژن سنگین‌تر است. مثلاً وزن اتمی اکسیژن ۱۶ و هلیوم ۴ است. از اینجا بسادگی نتیجه میشود که در یک گرم هیدرژن، در ۴ گرم هلیوم و یا در ۱۶ گرم اکسیژن (یا همانطوریکه در شیمی معمول است در یک اتم‌گرم هر ماده‌ای) شماره اتمهای هیدرژن، هلیوم و اکسیژن برابر میباشد. این شماره $N = ۶,۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ که بنام شماره آوگادرو معروف است با تناسب $N = L \times ۲۲۴۱۳,۶$ با عدد لشمیت مربوط است یعنی عدد آوگادرو معادل تعداد ملکول‌های گاز در حجمی معادل ۲۲,۴۱۳۶ لیتر در دمای یخ در حال ذوب و فشار متعارفی جو.

تصور اتم بمثابه گویچه‌ای سخت ــ برای توضیح مقدار بسیار زیادی از واقعیات شیمیائی، تئوری دسائی. و ساختمان ماده کافی بود. لکن در سال ۱۸۷۰ این فکر که خود اتم نیز مرکب از ذرات بازهم ساده‌تری است قوت گرفت و دانشمندان فیزیک دست بکار تجسس آنها شدند. قبل از هر چیز آنان به بررسی خواص الکتریکی اتم پرداختند.

کلیه مواد معمولاً از لحاظ الکتریکی خنثی هستند. لکن در تحت برخی شرایط خواص الکتریکی در آنها ظاهر میشود مثلاً هنگام سالش شیشه بر پشم، کهربا بر ابریشم و نظایر آن. بویژه در برقکافت (الکترولیز) این خصوصیات بسیار عالی پدیدار میگردند. اگر در مذاب یکی از املاح (مثلاً نمک طعام Na Cl) دو الکترود داخل کرده و به قطبین یک باطری وصل کنیم، آنوقت در مذاب نمک تغییراتی حاصل میشود: بدین شکل که در کاتد (آن الکترودی

که به قطب منفی باطری وصل شده است) فلز سدیم و در آند گاز کلر شروع به تصاعد می‌نماید. این بدان معنی است که در این مذاب، اتمهای سدیم دارای شارژ مثبت و اتمهای کلر دارای شارژ منفی هستند و بهمین جهت هم تحت تاثیر میدان الکتریکی در جهات مخالف یکدیگر بحرکت درمی‌آیند.

مایکل فارادی * (۱۷۹۱ — ۱۸۶۷) در سال ۱۸۳٤ قانون کمی این پدیده را ثابت کرد. معلوم شد که اگر از محلولهای مواد مختلف که ملکولهای آنها از اتم های یک ظرفیتی تشکیل شده باشد بمقدار مساوی برق معادل ۹٦٤۸٤,۵۲ کولن عبور دهیم، همواره در اطراف الکترودها مقدار ماده‌ای برابر با یک اتم گرم پدیدار خواهد گشت. مثلاً از مذاب نمک ۲۳ گرم فلز سدیم و ۳۷,۵ گرم گاز کلر پدید می‌آید.

قانون برقکافت فارادی به آسانی قابل درک است اگر فرض شود که در مذاب Na Cl هر یک از اتمها بار معینی داشته و ضمناً این بارها برای یون‌های Na^+ و Cl^- مساوی بوده و علامت ایشان مخالف است (اصطلاح یون — «سرگردان» را بچنین اتمهای «شارژ شده» فارادی برای اولین دفعه بنابر توصیه و یلیاسس وول (۱۷۹٤ — ۱۸٦٦) مولف کتاب مشهور «تاریخ علم القاء» در آثار خود بکار برد و بعلاوه اصطلاحات آنیون و کاتیون و همچنین آند و کاتد که اکنون معمول شده است از طرف وول به فارادی پیشنهاد شده بود). مقدار باری که یک یون با خود حمل میکند معادل $e = ٤,۸۰۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ CGSE میباشد (واحد الکترو استاتیکی الکتر یسته).

این مقدار بسیار کوچک است، اما ما هم حالا دیگر کمی به‌این چنین اندازه‌های کوچک عادت کرده‌ایم. اما شگفت‌آور است که ممکن نگردید از این بار بسیط e بار بازهم کمتری بدست آورند. جونستون استونی ** (۱۸۲٦ — ۱۹۱۱) دستش سبک بود و در سال ۱۸۹۱ این کمترین مقدار بار، «الکترون» نام گرفت.

Michael Farady *

George Johnstone Stoney **

مفهوم ذرات را در آغاز کار با این کلمه مربوط نمیکردند. مورد استعمالش فقط برای نشان دادن آن مقدار ناچیز بار بود که یون هر اتمی میتوانست با خود حمل کند. در صورتیکه این فکر باطنی دایر بر اینکه الکترون ذره است همیشه وجود داشت. واقعاً هم وقتی در تخیل جریان برقکافت را مطالعه کنیم، مشاهده میشود که یون سدیم (Na^+) در محلول، تحت تاثیر میدان الکتریکی بحرکت در آمده بسوی کاتد میرود و بدان نزدیک میگردد، و میدانیم در کاتد بار منفی فراوان است، از اینرو نیز در لحظه تماس یون Na^+ با آن از کاتد یک بار منفی گرفته و بدون آنکه وزنش تغییر کند بصورت اتم خنثی سدیم درمی‌آید.

حال سعی کنید لحظه گذر بار منفی از کاتد را به یون Na^+ در نظر مجسم سازید: وقتی که یون بدون آنکه وزنش تغییر کند خنثی میگردد، پس چه به آن اضافه شده است؟

تصور این جریان بسیار مشکل خواهد بود اگر در نظر نگیریم که بار بسیط در این جریان میتواند در خارج از اتم هم وجود داشته باشد. البته همگان به این مشکلات معترف بودند، اما پذیرش ساختمان اتم وار الکتریسته باز هم مشکل‌تر بود زیرا در این صورت تصور راحت و معمولی از الکتریسته بمثابه جریان مایع نازکی که بدون اشکال در کلیه اجسام نفوذ می‌نماید در هم ریخته میشد.

ماکسول در رساله معروف خود «الکتریسته و مانیتیسم» (۱۸۷۳) ممکن میشمارد که در الکترولیت ملکولها با مقدار معینی الکتریسته بار شده باشند، اما بلافاصله اعتراف میکند که «... این فرضیه جالب منجر به اشکالات خیلی زیادی خواهد شد».

۵ آوریل سال ۱۸۸۱ در انستیتوی سلطنتی جلسه‌ای از طرف جمعیت شیمیدانان تشکیل شده بود بمنظور برگذاری یاد بود خاطره مایکل فارادی، در این جلسه هرمان لودویک فردیناند فن هلمهلتز* (۱۸۲۱ — ۱۸۹۴) سخنرانی تحت عنوان «پیشرفت معاصر نظریه

* Herman von Helmholtz

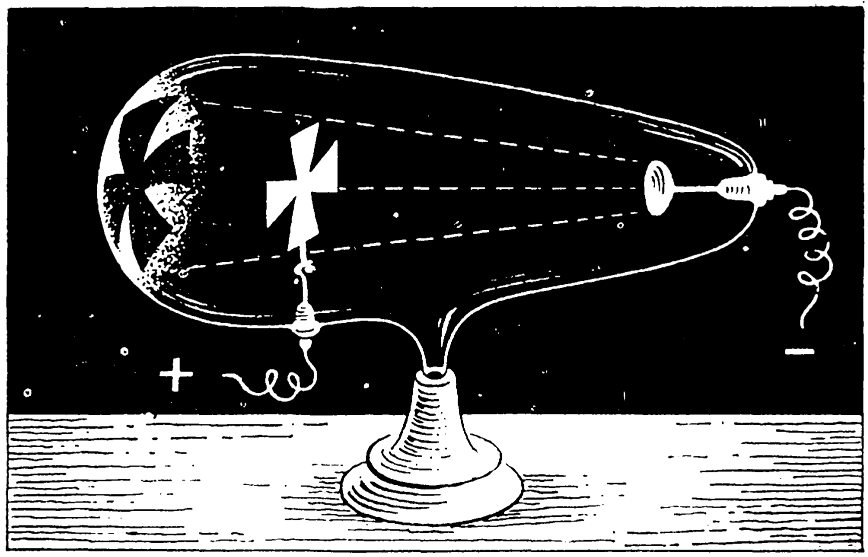
فارادی درباره الکتریسته» ایراد داشت. در این سخنرانی بود که هلم‌هلتز برای نخستین‌بار بطور واضح و آشکار فکر «ساختمان ملکولی الکتریسته» را اعلام داشت. اگر ما این فرضیه را که میگوید ساده‌ترین مواد از اتمها متشکلند بپذیریم، آنوقت ما نمیتوانیم از زیر بار این نتیجه شانه خالی کنیم که الکتریسته چه مثبت و چه منفی به حصه‌های بسیط معینی تقسیم میگردد که خود را چون اتم‌های الکتریسته جلوه‌گر میسازد.

البته این فکر بخودی خود حتی در آن زمان هم تازگی نداشت. هنوز در سال ۱۷۴۹ امریکائی کبیر بنجامین فرانکلین* به چیز تا حدی شبیه ظن برد ولی چون در آنموقع حدسیات او در حقیقت مبتنی بر اساسی نبود لذا به نتایج نوینی هم منجر نگردید. در سال ۱۸۷۱ فیزیک‌دان آلمانی ویلهلم ادوارد وبر** (۱۸۰٤ — ۱۸۹۱) بفکر فرانکلین بازگشت اما با حسن نظری برخورد نکرد، چون در زمان او دیگر آنقدر از الکتریسته اطلاعات داشتند که به صرف اعتماد فرضیه‌ای را نمیپذیرفتند، چون علم طالب مسئولیت است. ایده الکترون احتیاج به دلایل و مدارک تجربی داشت و از این رو هم شروع به تجسس آنها در پدیده‌های قابلیت هدایت گازها کردند.

لوله شیشه‌ای را در نظر بگیرید که مملو از گازی مثلاً نئون باشد و دو انتهای آنرا در حالیکه دو قطعه مفتول (معمولاً از پلاتین) در آن قرار داده باشیم جوش دهیم. اگر این دو مفتول را به قطبین باطری یعنی یکی را به قطب منفی (کاتد) و دیگری را به قطب مثبت (آند) وصل کنیم، از این مدار جریانی عبور خواهد کرد. درست همانند قضیه برقکافت (الکترولیت). شاید بویژه همین تشابه با پدیده برقکافت بود که بموقع خود (در سال ۱۸۳۸) مایکل فارادی را بفکر انداخت تا نمونه چنین لوله‌ای را بسازد («تخم مرغ الکتریکی» فارادی). همچنانکه بعدها خواهیم دید این تشابه فقط و فقط ظاهری بود، اما پدیده قابلیت هدایت گازها بخودی خود بقدری جالب بود

Benjamin Franklin *

Wilhelm Weber **



که بسیاری از پژوهشگران تمام زندگی خود را وقف مطالعه و آموزش خواص آن کردند.

تقریباً در اواسط قرن گذشته یولیوس پلوکر (۱۸۰۱ — ۱۸٦۸) (امروزه هر ریاضی‌دانی با این نام آشناست) از مطالعاتش روی هندسه که در بین معاصرینش مورد قبول نیفتاد دست کشید و به فیزیک آزمایشی سرگرم شد. وقتی اعلانات نوری — بصری زیبا را تماشا میکنید باید خود را مدیون پلوکر پرفسور ریاضی شهرهای برلن و بن بدانید. بویژه پلوکر بود که در سال ۱۸۵۸ این لوله درخشنده را اختراع کرد (معمولاً آنهارا گیسلری بنام هنریک گیسلر (۱۸۱٤ — ۱۸۷۹) استاد معروف شیشه‌گری می‌نامیدند که دستیار فنی پلوکر بود و بویژه هنر ساختن آنهارا آموخت ولی پس از گذشت نیم قرن در همه جا آنهارا لوله‌های کروکس نامیدند).

قبل از هر چیز پلوکر ثابت کرد که قابلیت هدایت گاز وابسته به تراکم آن در لوله بوده و با خارج کردن قسمی از آن از لوله افزایش خواهد یافت. در این صورت است که هر گازی شروع به درخشیدن با رنگ خاص خود میکند، بطوریکه بر حسب رنگ درخشش میتوان ترکیب گاز را در لوله تعیین کرد (پلوکر حتی از کرشهف و بونزن هم زودتر به این نتیجه رسید اما معنی آنرا نفهمید). اگر میزان خلاء را در لوله زیاد کنیم، آنگاه در حوالی کاتد فضاء تیره‌ای ظاهر میشود («لکه کاتدی») که اگر خارج کردن گاز را

از لوله ادامه دهیم، این لکه توسعه یافته و سر انجام لوله را پر میکند و لوله دیگر از درخشندگی باز می‌ماند. اما این فضاء تیره حیات دارد و اشعه‌ای از آن عبور میکند اگر چه برای چشم نامرئی است (همانند گلوله‌ای که از اسلحه خارج شده باشد تا وقتی بمانع برنخورده است).

آویگن گلدشتین (۱۸۵۰ — ۱۹۳۱) یکی از شاگردان پلوکر در سال ۱۸۷۶ این اشعه را اشعه کاتدیک نامید. قبلا هم در سال ۱۸۶۹ شاگرد دیگر او یوهان ویلهلم هیترف* (۱۸۲۴ — ۱۹۱٤) انحراف آنهارا در میدان مغناطیسی پیدا کرد و بالاخره در سال ۱۸۷۹ کرمول ورلی (۱۸۲۸ — ۱۸۸۳) نشان داد که آنها دارای بار منفی هستند.

در ابتدا سعی میشد این پدیده ها را بزبان تصورات موجی بفهمند (اگرچه ورلی در سال ۱۸۷۱ نقطه نظر ذره‌ای (کورپوسکول)** را ترجیح میداد. توضیح چنین تمایلی ساده است: هنوز همگان معنی مباحثات نیوتن و هویگنس*** را درباره طبیعت نور خیلی خوب بخاطر داشتند و بهمین جهت هم هر تلاشی برای توضیح پدیده‌های تشعشعات ذره‌ای مشهوده‌را رجعت به قرون وسطی تلقی میکردند.

خود را بجای این پژوهشگران بگذارید: در سالهای ۷۰ قرن ۱۹ مقداری واقعیات جالب در دست شما قرار دارد اما رابطه بین آنها مشهود نیست. از یک سو پدیده قابلیت هدایت گاز خیلی جریان برقکافت را بخاطر می‌آورد و از سوی دیگر چیزهائی روی میدهد که بکلی نا مفهوم است: مثلاً قابلیت هدایت گاز با تقلیل تراکم آن در لوله افزایش میابد. بعلاوه فقط سیل «اشعه» منفی پیدا شده است و از مثبت خبری نیست.

یک ایده‌ای که راهنمائی کند لازم بود.

چنین ایده‌ای پس از انجام گرفتن تجربیات درخشان ویلیام کروکس عالم فیزیک و شیمی انگلستان پا بمیدان گذاشت.

کروکس آدم جالبی بود که از نعمت بازیافتی نادری چون امکان

Wilhelm Hittorf *

** — Corpuscule جسم بسیار کوچک. م.

*** Huygens (۱۶۲۹ — ۱۶۹۵)

پیش‌بینی اکتشافات بنیادی سهمی بسزا داشت. او کارمند هیچ کجا نبود و بکلی درخدمت علم قرار گرفته بود (اما این مانع از آن نبود که به اسپیرتیسم* معتقد گردد و در سال ۱۹۱۳ بریاست جمعیت سلطنی بر گزیده شود).

قبل از هر چیز او با شدت بیشتری هوای داخل لوله را تخلیه کرد. در این حال از کاتد یک فضاء تیره‌تر دیگری جدا شد که آن نیز متدرجاً تمام لوله را پر کرد و از آن پس بود که از آند رنگ سبزی شعله کشید. آن روز سال ۱۸۷۸ را که این حادثه رخ داد میتوان روز تولد لوله‌های اشعه الکترونی شمرد — این یک قسمت اساسی تلویزیون معاصر است. تنها همین یکی کافی بود که کروکس احترام نسل‌های آتی را نسبت بخود تأمین سازد. اما برای خود کروکس این تازه آغاز کار بود. او با دقت فراوان خصوصیات این اشعه را مورد بررسی قرار داد وآن را ماده تابنده نامید. (این اصطلاح را فارادی حتی در سال ۱۸۱۶ به کار برده بود). کروکس احساس کرد که با پدیده طبیعی نوینی روبرو شده است و پیشنهاد کرد آنرا «چهارمین حالت ماده» بنامند که «نه مایع، نه جامد و نه گاز» می‌باشد. او نوشت:

«ما هنگام مطالعه و بررسی چهارمین حالت و یا حالت اشعه وار ماده، آن نخستین اتم ماده را در اختیار خود و در محیط پژوهش داریم که کاملاً بحق پنداشته میشود که کلیه اجسام طبیعت از آن تشکیل شده است. ما مشاهده میکنیم که ماده تابنده بنابر یکی از خصلت هایش همانقدر مادی است که مثلاً این میز، و از روی دیگر خصوصیاتش قبل از هر چیز به انرژی تشعشعی شباهت دارد. ما واقعاً به آن منطقه مرزی دست یافته‌ایم که ماده و انرژی تداخل میکنند. من فکر میکنم حل مهمترین وظایف آتی در این منطقه مرزی نهفته است، علاوه براین چنین بنظر من میرسد که مرز کلیه جهان واقعی در اینجا قرار دارد».

برای آنکه ارزش شجاعت و جسارت کروکس را دریابیم، باید بخاطر داشته باشیم که در آن دوران همه جهان را بدو قسمت مادی

---

* Spiritisme — اعتقادی مبنی بر اینکه با روح جاودان پس از مرگ میتوان مربوط گردید. م.

و اتری تقسیم میکردند و ضمناً این دو قسمت‌را هم متضاد و نا موافق میشمردند: با ماده ذرات را همگون میکردند و با اتر محیط را که نوسانات آنرا ما بمثابه اشعه نور قبول میکنیم.

بدین ترتیب ماده تابنده کروکس میبایست شامل خصایل متضادی باشد یعنی هم شعاعی و هم ذره‌ای باشد. پس از گذشت نیم قرن، همگان معتقد شدند که او تا چه حد محق بوده است ولی در آن زمان (بقول آلیور لوج — معاصر و هم میهن کروکس) — «... فرضیه کروکس دارای سرنوشت آن درخشش تفکر بود که گاهی بمولفین اجازه داده میشود ولی با تمسخر دانشمندان ارتودکس دورانشان مواجه میگردد».

صرف نظر از معنائی که کروکس در مفهوم «ماده تابنده» نهاد او بوسیله تجربیات غیر قابل بحثی خصلتهائی را در آن پیدا کرد نظیر: بخط مستقیم انتشار مییابد، موجب نورافشانی اجسام میگردد و حتی قادر است آنهارا ذوب کند، در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی منحرف میگردد، در اجسام جامد نفوذ میکند، در هوا راهی معادل ۷ سانتیمتر طی میکند، در حالیکه اتم فقط ۰٫۰۰۲ سانتیمتر طی میکند.

ویلیام کروکس با اتکاء به این تجربیات ثابت کرد که: اشعه کاتدی یا ماده تابنده همانا سیل سریع ذرات منفی است که ابعاد آنها بمیزان قابل ملاحظه‌ای کمتر از ابعاد اتمهاست.

بسهولت میتوان متقاعد گشت که فرضیه مذکور کلیه خصلت های اشعه کاتدی را روشن و آشکار ساخت. از جمله میتوان با این فرضیه ظهور فضاء تیره در دورادور کاتد را بسهولت توضیح داد، حجم آن بسادگی با فاصله متوسطی که الکترونها پرواز کرده و به اتمهای گاز برخورد ننمایند معین میگردد. مسلم است که این مسافت برحسب میزان خارج کردن گاز از لوله افزایش مییابد. اما اهمیت اصلی فرضیه در دیگر چیزی است، یعنی در آنست که این فرضیه‌ها درست همان ایده هدایت کننده‌ای گشت که اجازه داد در دریای واقعیات که تا آن زمان گرد آمده بود دانشمندان احساس اطمینان بنمایند.

حالا دیگر علمای فیزیک میدانستند کجا باید رفت و چه چیز را باید جستجو کرد: لازم بود «اتم الکتریسته» متمایز میگشت و خصوصیات آن یعنی بار، جرم و ابعادش معین میگردید.

برای اینکار تقریباً ۲۰ سال وقت و تلاش پیگیر فیزیک‌دانانی چون ژزف جون تمسون* (۱۸۵۶ — ۱۹٤۰)، جون تائونسند (۱۸٦۸ — ۱۹۵۷)، ویلهلم وین (۱۸٦٤ — ۱۹۲۸) ژرژ فیتسژرالد (۱۸۵۱ — ۱۹۰۱)، اسیل ویخرت (۱۸٦۱ — ۱۹۲۸)، ژان پرن** (۱۸۷۰ — ۱۹٤۲)، ربرت اندریوس میلیکان*** (۱۸٦۸ — ۱۹۵۳) لازم آمد. در اینجا ما امکانش‌را نداریم که در اطراف تجربیات جالب و دقیقی که آنان و دانشمندان بسیار دیگری اندیشیدند سخن گوئیم . از اینرو فقط بسادگی بررسی میکنیم که چگونه «اتم الکتریسته» فرضی بتدریج سالک خواص واقعی گردید تا اینکه اساس و بنیان فیزیک گردید.

ژان پرن قبل از هر چیز در سال ۱۸۹۵ بطور قطعی ثابت کرد که بار اشعه کاتدی منفی است. طی دو سال بعدی معلوم گردید که: سرعت آنها برابر است با $\frac{۱}{۱۰}$ سرعت نور یعنی تقریباً ده هزار دفعه سریعتر از گلوله اسلحه و سرعت حرکت دمائی اتمها. بعلاوه، اینها و سایر خواص اشعه مزبور به ترکیب گاز موجود در لوله بستگی ندارند و این خود بدان معنی است که ذرات کاتدی جزء حتمی متشکله کلیه اتمها میباشد.

سر انجام ج. ج. تمسون موفق شد در سال ۱۸۹۷ مقدار بار e و جرم m «اتم الکتریسته» مجزارا تعیین کند.

معلوم گردید که جرم این ذرات ($\approx ۱۰^{-۲۷}g$) تقریباً هزار مرتبه کمتر از جرم اتم هیدرژن بوده و بار ($e \approx ۵ \times ۱۰^{-۱۰}$ CGSE) تقریباً کاملاً معادل است با آن بار یون هیدرژن که در جریان بررسی برقکافت اندازه‌گیری شده بود.

این غیر منتظره بود. خود قضاوت کنید: پدیده‌های برقکافت و قابلیت هدایت گاز را علوم جداگانه مطالعه و بررسی میکردند و آنها بدون وابستگی به یکدیگر پیشرفت می‌نمودند و طی ده‌ها سال مفاهیمی ویژه خود تشکیل داده بودند. اما بیکباره معلوم شد که آنها دارای

Joseph Jonh Thomson *

Jean Perrin **

Robert Andrews Millikan ***

ارتباط نزدیکی هستند. ماکس فن لائوئه * دارنده جایزه نوبل از شاگردان پلانک میگوید: «چنین واقعیاتی در تاریخ دانش، محکمترین دلیل بر حقیقی بودن آن میباشد». برای علمای فیزیک چنین حوادثی همواره جشن و سرور شمرده میشود و ما باز هم به چنین تقاطع علوم باز خواهیم گشت.

تاریخچه الکترون — وسیله خوبی است برای دریافتن منطق اکتشافات فیزیک‌دانان معاصر: علما با نتیجه‌گیری از مشاهدات و با اتکاء بدانها فرضیه‌هائی را پیش میکشند که مجدداً بوسیله تجربه می‌آزمایندش و سرانجام، این جریان به نظریه یا تئوری ختم میشود، یعنی توضیحات فشرده‌ای از پدیده‌های جداگانه مبتنی بر کمی هم اصول کلی. فرضیه الکترون از مشاهدات و مطالعات فارادی، پلوکر و کروکس بظهور رسید. ثمربخش بودن آن بوسیله تجربیات ج. ج. تمسون و دیگر فیزیک دانان تحت آزمون قرار گرفت و صحت آن ثابت گشت.

بالاخره هندریک آنتون لورنتس** (۱۸۵۳ — ۱۹۲۸) که فوق‌العاده به واقعی بودن الکترون ایمان داشت، بر مبنای این فرضیه یک تئوری بوجود آورد که نتایج حاصله از آنرا میتوان آزمود.

این جریان حد و مرزی ندارد و این یگانه وسیله حرکت دانش است.

اکنون باز گردیم بروزی که در سال ۱۸۹۷ هنگامیکه پس از ۴۰ سال کوشش بالاخره اولین «ذره بسیط» برسمیت شناخته شد. از زمان شناسائی واقعی بودن اتم، این مهمترین حادثه در فیزیک شمرده میشود. در آن سال بود که دانستند: ذراتی وجود دارد که بمیزان زیادی کوچکتر از اتمها هستند و از اجزاء متشکله کلیه اتمها میباشند و بالاخره اینکه نه تنها ماده بلکه الکتریسته نیز دارای یک ساختمان اتم مانندی است. همه اینها بدان معنی است که واقعاً در طبیعت یک ناقل مادی کمترین بار الکتریکی وجود دارد. در سال ۱۹۰۰ پاول دروده (۱۸۶۳ — ۱۹۰۶) پیشنهاد کرد این ذرات را الکترون بنامند.

الکترون نیز چون اتم بزودی پذیرفته نشد. هنوز در سال ۱۹۰۲

Max von Laue (۱۸۷۹ — ۱۹۶۰) *

Hendrik Antoon Lorentz **

آلیور لوج می‌نوشت: «... الکترون یک شارژ فرضی خالص مجزا از اتم میباشد». حتی در سال ۱۹۲۰ رنتگن کبیر بکار بردن این کلمه را بهمکاران انستیوی خود قدغن کرد.

البته امروزه این شک و تردیدها را مشکل میتوان درک کرد.

آن دسته از علمای فیزیک که فوراً واقعی بودن الکترون را باور کردند، با دقت مشغول اندازه‌گیری مشخصات آن یعنی بار e و جرم m گردیدند. به برکت خدمات آنها (بویژه آثار ربرت میلیکان که از سال ۱۹۰۹ تا ۱۹٤۰ متناوباً به این مسئله بازگشت) بود که ما اکنون این اعداد را با دقت بسیاری میدانیم.

$$m = ۹{,}۱۰۹۵۵۸ \times ۱۰^{-۲۸}\,\mathrm{g}$$

$$e = ٤{,}۸۰۳۲۵۰ \times ۱۰^{-۱۰}\,\mathrm{CGSE}$$

پس ابعاد؟ الکترون دارای چه ابعادی است؟ افسوس که تا کنون هم آنها برای ما نامعلوم هستند. حتی ما نمیدانیم این سؤال اصولاً دارای معنی و مفهوم دقیقی هست یا نه. در واقع در بررسی تاثیرات متقابل الکترون با دیگر ذرات و میدانها، ما خواص آنرا میفهمیم. اما برای فهم نتیجه کلیه این تجربیات، برای ما فقط دانستن جرم و بار الکترون کافی است و به دانستن ابعاد آن بهیچوجه احتیاجی نیست. امکان دارد که براستی چنین خاصیتی در الکترون وجود نداشته باشد. آیا میتوان ضخامت خط استوا را نشان داد با همه اینکه طول آنرا میتوان اندازه گرفت؟ و یا آیا ممکن است اندازه الکترون بشرایط تجربه بستگی داشته باشد؟ چنین امکانی را هم از قبل نمیتوان رد کرد، آخر ستاره دنباله‌دار وقتی به خورشید نزدیک میشود ابعادش تغییر مییابد در حالیکه جرمش ثابت می‌ماند. اینها همه سؤالات بیهوده‌ای نیستند و باز به آنها باز خواهیم گشت.

اتمها، الکترون ها، اشعه

همین حالا بود که ما آن قسمت بغرنج از راهی را که پژوهندگان در پایان سده گذشته طی نمودند تکرار کردیم. این زمانی بود که وفور پدیده‌های نوین بر روابط ساده بین آنها سایه افکنده بود. در آنوقت

اعتقاد بزرگی به هم آهنگی طبیعت لازم بود تا آنان در هرج و مرج فاکتهای رنگارنگ و فرضیه‌های ضد و نقیض سر درگم نشوند.

حقیقتاً اکتشافات بزرگ نه فقط پاسخگوی سؤالات قدیمی هستند بلکه زاینده سؤالات تازه نیز میباشند. کشف الکترون مشوق دانشمندان فیزیک شد. اما بزودی تشویش‌های تازه‌ای جایگزین آن گردید. الکترون ها در اتم چگونه با یکدیگر مربوطند؟ چند تا در آنجا هست؟ در سکونند یا در حرکت؟ و بالاخره حرکت آنها چگونه با تشعشعات اتمی مربوط میشود؟

شکل و مشخصات سؤالات دگرگون میشد، اما بتدریج تمام آنها به این وظیفه منتهی میشدند که: لازم است شماره، ابعاد و وضع قرار گرفتن الکترون ها را در اتم دانست، هم‌چنین تأثیر آنهارا روی جریان تشعشعات.

هیچکس در این باره نمی‌اندیشید که بطور کلی چنین سؤالاتی معنی دارد یا نه. در آن زمان همه ساکت و آرام الکترون را چون گویچه کوچکی بقطر 10^{-13} سانتیمتر پیش خود مجسم میکردند که «به نحوی» در درون اتم جای دارد. یا اینکه چون مگسی که در درون گنبد عظیم کلیسیا در پرواز باشد یا چون نقطه‌ای در فضاء سالن سینما معلق میزند.

در ابتدا میخواستند این چیز مهم را بدانند که: چرا اتم خطوط طیفی با طول موجهای کاملاً معینی تشعشع میکند و چرا این خطوط آنقدر زیاد هستند (مثلاً برای اتم آهن عده قابل رویت این خطوط به ۳ هزار میرسد). مثل همیشه وقتی ایده‌های ژرفی وجود ندارد ناچار تشابهاتی می‌اندیشند. همگان خوب بخاطر داشتند که بسامد نوسانات فنر متصل به وزنه‌ای وابسته به قابلیت ارتجاع فنر است، عده‌ای از علمای فیزیک فکر کردند که پس در اتم هم الکترون ها به «نوعی» فنرها با قابلیت ارتجاع گوناگون متصلند. وقتی ما اتم‌را تحریک کنیم، الکترونها شروع به نوسان میکنند و در این حال نوری متشعشع میگردد که دارای بسامد نوسانات همان فنرچه‌ها است. بعقیده لوکر بلافاصله از اینجا چنین برمی‌آید که شماره الکترونها در اتم برابر با شماره خطوط در طیف عنصر است. بعلاوه اتم با چنین ساختمانی با میل بیشتری آن اشعه‌ای را بویژه جذب خواهد کرد که خودش پخش

میکند. اما بویژه همین‌را کرشهف و بونزن طی تجربه مشهور خود با بخار سدیم پیدا کرده بودند!

صرف نظر از موفقیت مدل اتم با اتصالات فنروار الکترون، اکثراً نقص منطقی و یا دقیقتر نقص استیتک آنرا میفهمیدند. بزودی تضاد مستقیم آن با تجربه هم آشکار گردید. ج. ج. تمسون ضمن مطالعه روی پراکندگی اشعه ایکس در اتم عناصر مختلف به این نتیجه رسید که شماره الکترونها در اتم خیلی زیاد نیست و تقریباً معادل نصف وزن اتمی هر عنصری میباشد. او در سال ۱۹۰۴ مدل خود از اتم‌را ارائه داد که تکامل فرضیه ویلیام تمسون (که لقب لرد کلوین داشت) بود که نام خانوادگیشان یکی بود: بدین شکل که در داخل گویچه — اتم بقطر 10^{-8} سانتیمتر با بار همگون مثبت، الکترونهای منفی با اتصالات فنروار شناور بودند. شماره الکترونها معادل بار گویچه بود بطوریکه در مجموع اتم خنثی می‌ماند و همینطور هم باید میبود.

در آغاز سده ما تقریباً کلیه دانشمندان فیزیک مدل تمسون‌را پذیرفتند. فقط عده معدودی از آنان مدلهای دیگری ارائه میدادند. اما صرف نظر از برخی عدم توافق‌های ناچیز، همگان حس میکردند که عصر نوینی در دانش اتمی آغاز شده است.

تجزیه طیفی

کشف تجزیه طیفی علاقه و توجه شدیدی حتی در مردم عادی دور از علم بر انگیخت که برای آن زمان، حادثه بسیار نادری بود. در این حادثه نیز مثل همیشه آماتورهای بیکاره‌ای در جستجوی

علمای دیگری بودند که گویا خیلی قبل از کرشهف و بونزن تجزیه طیفی را کشف کرده اند.

از جمله عالم فرانسوی ژاک برنارد لئون فوکو * (۱۸۱۹ — ۱۸٦۸) که ده سال قبل از آنها تجزیه مشابهی را ارائه داده بود، ستاره شناس مشهور جون فردریک هرشل ** (۱۷۹۲ — ۱۸۷۱) را و مخترع عکاسی روی کاغذ و یلیام هنری فکس تالبوت*** (۱۸۰۰ — ۱۸۷۷) و بسیاری دیگران را نام میبردند. انگلیس ها پس از گذشت مدت زیادی تاکید میکردند که تجزیه طیفی‌را یکی از هم میهنانشان بنام گابریل استکس**** (۱۸۱۹ — ۱۹۰۳) کشف کرده است و او در جریان گفتگوی خود با ویلیام تمسون ***** (۱۸۲٤ — ۱۹۰۷) در باره اینکه ممکن است پیدایش خط D در طیف آفتاب در اثر عبور نور سفید آفتاب از بخار سدیم موجود در پوسته گازی خورشید باشد، این مطلب را به او گفته است. لکن خود استکس بنابر نجابت ذاتیش، چنین ادعائی را رد میکرد و قبول داشت که نظیر چنین نظریاتی را در سخنرانی های خود برای دانشجویان بیان داشته است ولی آنهارا نظریاتی آشکار که فاقد اهمیت خاصی باشند میشمرده است. (ضمنا درست در همین زمان پطر تیت****** (۱۸۳۱ — ۱۹۰۱) بفکر خلاصه های علمی افتاد و لاابالی گری استکس و ویلیام تمسون را مورد سرزنش قرار داد که در اثر عدم آشنائی با آثار علمی مانع از انتشار نظریات آشکاری گردیده‌اند.)

کرشهف و بونزن برخلاف بسیاری از پیشینیان خود، فوراً اهمیت کشف خویش را دریافتند و ابتدا با وضوح و سلاست برای خود روشن ساختند (بهمین جهت هم چنین بسهولت بدان دیگران را نیز معتقد کردند) که خطوط طیفی از مشخصات اتم ماده میباشد نه از ویژه‌گی

Leon Foucault *

John Herschel **

William Henry Talbot ***

George Stokes ****

William Thomson *****

Peter Guthrie Tait ******

ساختمان منشور و یا خصوصیت اشعه آفتاب. کرشهف بلادرنگ به تنظیم مفصل‌ترین اطلس خطوط فراونهوفر طیف آفتاب پرداخت و ترکیب شیمیائی خورشیدرا معین کرد. در اثر این کار به بینائی او صدمه زیادی وارد آمد و به ناچار در سال ۱۸۶۱ از ادامه آن دست کشید.

تاریخچه و ماهیت کشف تجزیه طیفی میتواند موضوع جالبی برای داستان سرائی باشد. لکن متاسفانه ما نمیتوانیم بدان مشغول و سرگرم شویم. فقط یکی از آنها را بیاد دوستداران تاریخ می‌آوریم که پس از کشف کرشهف و بونزن رخ داده است.

روز ۱۸ اوت سال ۱۸۶۸ ستاره‌شناس فرانسوی پیر ژول سزار ژانسن * (۱۸۲۴ — ۱۹۰۷) هنگام کسوف آفتاب در هندوستان بود و متوجه خط زردرنگی در طیف هاله آفتاب گردید که طبیعتش معلوم نبود. دو ماه بعد دانشمند فیزیک انگلیسی ژزف نرسان لوکر (۱۸۳۶ — ۱۹۲۰) میدانست چگونه میتوان طیف هاله را بدون انتظار روی دادن کسوف بررسی کرد، توانست همان خط زرد را در طیف هاله پیدا کند. او آن عنصر نامعلومی را که این خط زرد را پخش میکرد «هلیوم» یعنی عنصر آفتابی نامید. هر دو عالم نامه‌هائی درباره کشف خود به فرهنگستان علوم فرانسه نوشتند و هر دو نامه در جلسه ۲۶ اکتبر سال ۱۸۶۸ فرهنگستان قرائت گردید. این تطابق موجب شگفتی آکادمیسین‌ها شد و تصمیم گرفتند به افتخار این حادثه مدال یاد بود زرینی ضرب زده شود که در یکسوی آن نیمرخی از ژانسن و لوکر بوده و در سوی دیگرش تصویر خدای آفتاب آپولو برگردونه، با زیر نویسی بدین مضمون: «تجزیه پل‌های دماغی زبانه آفتاب».

عنصر هلیوم را در روی زمین ویلیام رامزی در سال ۱۸۹۵ کشف کرد.

ویلیام کروکس (۱۸۳۲ — ۱۹۱۹)

کروکس در خانواده بازرگانی در ریجنت استریت لندن پا بعرصه وجود گذاشت. از میان ۱۶ فرزندی که پدرش از ازدواج دوم داشت،

Jules Janssen *

او از همه بزرگتر بود، در حالیکه ثمره نخستین ازدواج هم ٥ فرزند دیگر بود. بطوریکه خود او میگوید در خانواده شان بوئی از «علم» بمشام نمیرسید و او تحصیلات دبستانی را نزد دائیش که دکه کتابفروشی در نزدیکی مغازه پدرش داشت آموخت.

او در سن ۱۹ سالگی از کالج سلطنتی در رشته شیمی که تازه تاسیس شده بود فارغ التحصیل گردید و در همان کالج بعنوان دستیار مشغول کار شد. او در عین حال در سخنرانی‌های فارادی در انستیتوی سلطنتی حاضر میشد که ضمناً تاثیرات فراموش نشدنی در او بجای گذاشت.

در سال ۱۸٦۱ او موفق بکشف عنصر تالیوم گردید و در سال ۱۸٦۹ بعضویت جمعیت سلطنتی برگزیده شد و در همین جمعیت بود که ۳۰ نوامبر سال ۱۸۷۸ گزارشی در باره خصوصیات اشعه کاتدی برای اعضاء انجمن قرائت کرد.

خیلی جدی شایع است که او بکشف اشعه ایکس خیلی نزدیک شده بوده است. جریان از این قرار است که او در جریان تجربیات خود روی اشعه کاتدی همواره کمپانی ایلفورد را متهم میکرد که شیشه‌های عکاسی که در اختیار او میگذارد نور دیده هستند (بطوریکه حالا ما میدانیم اشعه ایکس که هنگام برخورد الکترونها به دیواره لوله پدید می‌آیند، کاملاً قادرند شیشه های عکاسی را که حتی در قوطی سر بسته قرار داشتند ضایع و یا باصطلاح نوردیده گردانند). البته شایعات تائید نگردید و در هر صورت خود کروکس هم در این باره هیچ جا علناً چیزی یادآور نشده است.

شخصیت پر غنی کروکس شگفت‌آنگیز بود، او مخترع، مبتکر انتشار مجله «اخبار شیمی» و در عین حال محققی تمام عیار بود، انسان خوش مشرب، گشاده‌رو، حلیم و متعادل، وفادار بخانواده و با احتیاط نسبت بمردم غریبه. ج. ج. تمسون بعدها درباره او گفته بود: «او متفکری فوق‌العاده، مستقل، عجیب و شجاع بود، او پدیده‌هارا از دیدگاه خود نظاره میکرد و باک نداشت نظر خود را اگرچه از بیخ و بن با تائیدات و معتقدات کلیه شخصیت های معتبر قبلی متباین باشد ابراز دارد.»

نظریه سینتیک گازها

اکنون سعی میکنیم همگام با علمای سده ۱۹ به ژرفای اتم رسوخ کنیم. در همان قرن ۱۹ بموازات این تلاشها، میکوشیدند خصوصیات فیزیکی جسم را بدون ورود در جزئیات ساختمان درونی اتم توضیح دهند. فکری که مبنای این کوشش‌ها بود بسیار ساده است: اتمها که کلیه مواد در طبیعت از آنها مرکبند ساکن نبوده بلکه دائماً در حرکتند.

معلوم شد که اگر نظیر چنین تصوراتی بزبان ریاضی بیان شود، به یک سلسله نتایج بزرگ منجر خواهد گشت. تلاش نیوتن برای توضیح قانون بویل — ماریوت گازها سر آغاز این چنین کوشش هائی بود که پی در پی بدان دست انداخته میشد. لکن پایه‌گذار تئوری سینتیک ماده را باید دانیل برنولی* (۱۷۰۰ — ۱۷۸۲) دانست.

برنولی در خانواده‌ای متولد گشت که از هلند برخاسته بود، خانواده‌ای که بالغ بر ۱۲۰ نفر از برجسته‌ترین، مشهورترین دانشمندان، هنرمندان، ادبا و رجال دولتی تقدیم جهان داشته بود. برنولی برخلاف میل پدرش به آموزش ریاضیات نزد برادر ارشد خود نیکلا پرداخت و سپس تحصیلات خودرا در ایتالیا به پایان رساند. در سال ۱۷۲۵ همراه نیکلا به پطربورگ میرود، زیرا اصلاحات پطر توجه بسیاری از خارجیان‌را بخود جلب کرده بود. پس از ۸ ماه نیکلا وفات میکند. دانیل که در آن زمان دیگر پرفسور بود ۷ سال آزگار در پطربورگ بسر میبرد تا بالاخره نتوانست اقلیم و آداب و رسوم زندگی روسیه را بیش از آن تحمل کند. در اینجا بود که «هیدرو دینامیک» خود را نوشت و ۵ سال پس از بازگشت به بازل در سال ۱۷۳۸ بطبع رساند.

تقریباً در همان زمان در پطربورگ فکر همانندی را میخائیل واسیلیویچ لومونوسف بسط و توسعه داد.

تئوری سینتیک گازها بسرنوشت عجیبی گرفتار شد. به «هیدرو دینامیک» برنولی توجهی مبذول نگشت مگر پس از گذشت ۱۲۰ سال یعنی در سال ۱۸۵۹ آنرا یافتند. با آثاری که لومونوسف طی

Daniel Bernoulli *

سالهای (۱۷۴۲ — ۱۷۴۷) نوشته بود نیز فقط در سال ۱۹۰۴ آشنا گردیدند.

در سده ۱۹ برای دومین بار تئوری سینتیک گازها پا بعرصه میدان گذاشت و در آغاز باز هم ناموفق بود. در سال ۱۸۲۱ جون هراپت (۱۷۹۰ — ۱۸۶۸) که معلمی پر حرارت و مباحثه جو در بریستل بود، فرضیه سینتیک نوینی بمیان گذاشت ولی باز هم کسی بدان توجهی نکرد. پس از گذشت ربع قرن یعنی در سال ۱۸۴۵ جون جیمس واترستون (۱۸۱۱ — ۱۸۸۳) که مربی دریائی کمپانی هند شرقی در بمبی بود، رساله جامعی درباره تئوری سینتیک گازها برای انجمن سلطنتی به لندن فرستاد. این اثر بچاپ نرسید. زیرا تقریظ‌کنندگانش آنرا بعنوان چیز «... ابلهانه و حتی نالایق برای قرائت در برابر انجمن سلطنتی» شمردند. تنها در سال ۱۸۹۲ بود که لرد رلی نوشته‌های واترستون را در بایگانی پیدا کرد و منتشر ساخت.

علت چنین فراموشکاری متفق‌القولی‌را نسبت به این آثار باید در بنای عقلانی فیزیک دانان آن زمان جستجو کرد، تا حدی هم آموزش فلسفی آن دوران مقصر بود، زیرا در نیمه قرن ۱۹ تقریباً همه فلاسفه موجودیت اتم را رد میکردند. (و این جای تعجب است زیرا فلاسفه قرن ۱۸ فاکت موجودیت اتم را نه تنها احتمالی بلکه حتی مبتذل تلقی میکردند).

با وجود این ایده‌های هراپت و واترستون بخاک سپرده نشد، آنها به قاطع‌ترین شکلی در آثار جیمس پرسکت جول (۱۸۱۸ — ۱۸۸۹) ظاهر شدند و هم او بود که در سال ۱۸۵۱ برای نخستین بار سرعت ملکول‌های گاز را ارزیابی کرد. معلوم شد که این سرعت بطور غیر منتظره‌ای زیاد است: مثلاً برای ملکول هیدرژن تقریباً معادل ۱۸۰۰ متر در ثانیه است یعنی دو مرتبه از سرعت گلوله توپ زیادتر.

بعداً پیشرفت تئوری سینتیک ماده با سرعت پیش تافت: کرونیگ (۱۸۵۶) و کلائوزیئوس (۱۸۵۷) آنرا مجدداً کشف کردند، ماکسول (۱۸۶۰) و بلتسمان (۱۸۷۸) تقریباً تا وضع امروزیش آنرا بسط دادند. بنظر میرسید که حالا دیگر فرضیه اتمی کاملاً پیروز شده است.

ولی هنوز ده سالی نگذشته بود که باز هم «از مد افتاد». آثار بلتسمان

«بیشتر موجب حیرت میشد تا پذیرش آن». خود او را «آخرین تکیه گاه هواداران اتم» می‌نامیدند، آری خود او نیز با اندوه فراوان اعتراف کرد که «من آخرین کسی هستم که امکان ساختمان منظره جهانی را به هر صورتی جز آتومیستی رد میکنم». این موج جدید عدم اعتماد حتی در کتب درسی و مقالات علمی رسوخ کرد. مثلاً در کتاب آموزشی مشهور ب. گ. تت (سال ۱۸۸۵) چنین میخوانیم: «اتم جامد... زنده است (بشکل فرضیه‌ای محتمل ولی ثابت نشده) و تا امروز... لاکن چنان تئوری بسیار شبیه به حقیقی که بموجب آن ماده پیوسته میباشد، یعنی از ذرات فاصله‌دار تشکیل نگشته است». و حتی در سال ۱۸۹۸ در یکی از مجلات علمی نوشته بودند: «... تئوری سینتیک همانقدر اشتباه است که تئوری مکانیکی قوه جاذبه».

لیکن سیل اکتشافات آغاز قرن بیستم این تردد‌های بیجا را چنان روفت که اثری هم از آن بر جای نماند و از آن وقت تئوری سینتیک ماده یکی از علوم اساسی درباره ساختمان اجسام است که بکمک آن ظرفیت حرارتی و رسانائی گرمای اجسام سخت، کشسانی، ناروانی، تداخل گازها و خیلی چیزهای دیگر توضیح داده میشود.

میخائیل واسیلیویچ لمونسف *

نخستین دانشمند روسی میخائیل واسیلیویچ لمونسف در ۸ نوامبر سال ۱۷۱۱ در دهکده دور افتاده شمالی دنیسوفکا واقع در یکی از جزایر رودخانه دوینای شمالی نزدیکی شهر خلموگری چشم بجهان گشود. در زمستان سال ۱۷۳۱ در بیستمین سال زندگیش با ارابه‌ای وارد مسکو گردید و تنها در اینجا بود که شروع به تحصیل کرد. چهارم آوریل سال ۱۷۶۵ در حالی چشم از جهان فروبست که آکادمیسین روسیه و عضو افتخاری فرهنگستان‌های استکهلم و بولونی بود.

همگان از نیروی جسمانی، وسعت نظر و قدرت نبوغ خلاقیت لمونسف در حیرت می‌ماندند. او نخستین کسی بود که قرائت کنفرانس‌های علمی را بزبان روسی آغاز نهاد. برای اینکار نیز لازم

Mikhail Vassilievitch Lomonossov *

بود اصطلاحات علمی تتبع و تهیه میشد و او اینکار را کرد. اولین کتاب درسی کان‌شناسی بزبان روسی‌را نوشت، نظم‌نویسی معاصر روسی‌را پایه‌گذاری کرد، تنظیم و ترتیب نقشه روسیه را رهبری نمود، اثری بنام «درباره تکثیر و محافظت خلق روس» نوشت، نقشه موزائیکی از شیشه های رنگین ساخت خود تهیه کرد و یک هیئت علمی که ماسور جستجوی راه دریائی به هند از طریق سواحل شمالی روسیه بود مجهز ساخت، دستگاه‌ها و ابزارهائی برای دریانوردی بوجود آورد و نخستین لابراتوار شیمی را در روسیه تاسیس کرد.

در سال ۱۷۵۵ با شرکت فعال لمونسف نخستین دانشگاه روسیه در مسکو گشایش یافت که بعدها به نام او نامگذاری شد.

نظرات لمونسف درباره علوم طبیعی در سطح همان عصر بود و اغلب از آنهم پیشی میگرفت. او از هواداران پیگیر اتمیست ها * و مخالفین آشتی‌ناپذیر دمازائی * * بود. لمونسف ۴۰ سال قبل از لاوازیه همواره از ترازو در تحقیقات شیمیائی استفاده میکرد، او تجربه مشهور تکلیس فلزات در انبیق های لحیم شده را ۱۷ سال قبل از لاوازیه عملی ساخت و ۳۰ سال پیش از هرشل وجود آتمسفر را در ستاره زهره کشف کرد.

کارش سهل و آسان نبود: زیرا در آن زمان روسیه یک کشور فئودالی غرق در بیسوادی بود. اشتغال به امور علمی و هنری کار محترمانه‌ای شمرده نمیشد. لمونسف ناچار بود در میان درباریان پشت و پناهی بیابد و به اموری که ربطی به علم نداشت مشغول گردد، ولی در عین حال به شاگردانش چنین تلقین میکرد: «برای نسلهای آینده چه میتواند مطبوعتر و مفیدتر از این باشد که انسان بتواند فارغ از کارهای مهم روز به تجربیات فیزیکی و شیمیائی مشغول گردد.».

در سال ۱۷۴۲ در رساله علمی خود تحت عنوان «درباره ذرات

---

* هواداران طریقت فلسفی قدیمی اتومیسم که جهان را متشکل از اجتماع تصادفی و صرفاً مکانیکی اتم میداند. م.

* * نظر قدیمی مبتنی برفرضیه «اجسام بی‌وزن» که علت گرما میباشد. م.

4*

نا محسوس فیزیکی که تشکیل دهنده اجسام طبیعت بوده و حاوی اساسی‌ترین خواص جزئی میباشند» چنین مینوشت:

«... بند ۸۷. آکسیوم. اجسام مرکب از تعدادی اجزاء بنیادی تشکیل شده‌اند که به آنها تجزیه میشوند...

بند ۸۹. قضیه ۱۰. کلیه اجسام از ذرات نامحسوس فیزیکی تشکیل میشوند که اساسی ترین کیفیت های جزئی را در خود جمع کرده و در حین حرکت به از آن کمتر نمیتوانند تقسیم گردند...

بند ۹۰. توضیحات. ما ذرات فیزیکی نامحسوس را که در حین حرکت از آن کمتر قابل تقسیم نیستند مونادا مینامیم. ما امکان تقسیم تخیلی ماده را تا بینهایت رد نمیکنیم ولی فکر میکنیم بتوان بدون ترس از اشتباهات در کارهای فیزیکی را انجام داد. همچنین از پراکندگی خلاء (اگر وجود داشته باشد) بر ماده باکی نداریم زیرا هیچ مفهومی جز مسافت بدان مربوط نیست بنابراین هیچ خاصیتی نداشته و صرف نظر از اینکه وجود داشته باشد یا نه هیچ چیز بماهیت طبیعت اشیاء نمی‌تواند بدهد.

بند ۹۱. قضیه. شکل موناداهای فیزیکی تغییر نا پذیر است...»

علت گرما و سرما را لمونسف در «حرکات متقابله ذرات نا محسوس فیزیکی» میدید. در سال ۱۷٤٤ رساله‌ای تقدیم فرهنگستان علوم کرد تحت عنوان «تفکراتی در اطراف گرما و سرما» که برای تجسم آن قطعاتی از آنرا یاد آور میشویم.

بند ۱. کاملاً واضح است که گرما از حرکت پدید می‌آید: دست‌ها در اثر سایش بیکدیگر گرم و چوب آتش میگیرد، از برخورد فولاد به سنگ چخماق جرقه می‌جهد، آهن در اثر فرود آمدن ضربه محکمی بر قسمتی از آن گرم میشود...

از تمام اینها کاملاً واضح است که حرکت مبنا و اساس گرما است. اما از آنجا که هیچ حرکتی بدون ماده صورت پذیر نیست، پس برای آنکه اساس کافی برای گرما بوجود آید، باید ماده‌ای بحرکت درآید

بند ٦. وقوع حرکت درونی را به ۳ شکل میتوان پیش خود مجسم کرد: ۱) یا ذرات نامحسوس جسم دائماً محل خود را عوض میکنند، ۲) یا در یک محل دائماً میچرخند، ۳) یا بالاخره در فضاء نامحسوسی

و در زمان نامحسوسی همواره بجلو و عقب در نوسانند. اولی را پیشرفت کننده، دومی را چرخنده و سومی را نوسان کننده می‌نامیم...»

در صورت مجلس فرهنگستان در مورد این اثر تذکری قید شده است که در آن گفته میشود: «برای دستیار پروفسور لمونسف خیلی زود است که دست به نوشتن رساله بزند». سطح پائین فرهنگ و نزاکت آنروزی فرهنگستان و سیر شدید روسیه بطرف انزوا همواره بدان منجر میشد که آثار علمی لمونسف در پیشرفت آتی علم موثر واقع نگردد. این آثار بدست فراموشی سپرده شدند، و نسلهای بعدی طی یک قرن و نیم، او را فقط بمثابه یک شاعر یاد میکردند. تنها دویست سال پس از روز تولدش، آثار علمی او را متدرجاً از گوشه و کنار بایگانی‌ها بیرون کشیدند و عظمت این نابغه حقیقی روسیه را در یافتند.

فصل سوم

آتم‌ها ◇ اشعه ◇ کوانتها ◇ پیروزی نهائی آتمیست ها

میگویند انسان نیمی از اطلاعات خود را درباره دنیای خارج در سنین تا پنج سالگی کسب میکند. طی ده سال بعدی تقریباً دیگر همه چیز را از دنیا میداند و از آن پس مدرکات خود را درباره آن خیلی بکندی تکمیل میکند (به استثناء اطلاعات مخصوص)، شاید این بدان علت باشد که در این دوران او توانسته است عادات مضره دوران بلوغ را کسب کند که برای آموختن هر چیز تازه‌ای حتماً سؤال کند که «آخر برای چه؟».

در نخستین آشنائی با مکانیک کوانتائی چنین عادات بزرگسالگی خیلی مزاحم خواهد بود، زیرا در آغاز کار هیچ چیز روشن نیست نه اصل پدیده‌های اتمی، نه اهمیت نسبی آن در طرح عمومی و نه بویژه معنی پوشیده‌آن.

در چنین وضعی باید چون کودکانی که سخن گفتن میآموزند رفتار کرد. آنان ابتدا اصوات نامفهومی را میشنوند، سپس بدون فکر آنها را برگزیده تکرار میکنند و سر انجام متوجه رابطه منطقی بین کلمات میگردند. بتدریج در مییابند که کلمات اکثراً بخودی خود هیچ معنائی ندارند، اما گاهی هم شامل معنی غیر منتظره ای هستند البته بشرط آنکه با نظم خاصی بکارشان برند.

واضح است مدت زمان درازی خواهد گذشت تا آنان بیاموزند که چگونه باید دقیقترین نکات فکری نهفته در پس انشاء کلمات عادی درک کرد. در حقیقت هم فقط آنوقت است که آنان دیگر بالغ شده‌اند.

در این بخش از کتاب ما واقعیات تازه فراوانی درباره اتم، اشعه و کوانت فرا خواهیم گرفت. ممکن است در آغاز کار انتخاب فاکتها

و تعبیر و تفسیر مطمئنانه آنها چندان هم مستند بنظر نرسد، درست همانند رفتار بزرگسالانی از دیده کودک. خوب این را که هیچ کارش نمیتوان کرد. وقتی ما برای اولین بار از واقعیاتی غیر عادی چون فیزیک اتمی مطلع میگردیم خواه نا خواه بکودکانی می مانیم که بدنیائی گام گذارده‌اند که برایشان تازگی دارد. علم و دانش بدون فاکت‌ها (واقعیات) نمیتواند وجود داشته باشد. بیائید موقتاً هم شده به عالم کودکی باز گردیم، زیرا کودکان همواره بیشتر از آنچه میفهمند میدانند.

پایان سده گذشته و آغاز عصرمارا اغلب دوره قهرمانی دانشمندان فیزیک مینامند. این دورانی بود که هر سالی کشف غیر منتظره‌ای را همراه داشت که پایه‌مندی آن حتی اکنون پس از گذشت بیش از نیم قرن آشکار است. یکی از این اکتشافات باز هم بهمان لوله کروکس مربوط میشود. دوم نوامبر سال ۱۸۹۵ هنگامیکه ویلهلم کنراد رنتگن * (۱۸٤۵ — ۱۹۲۳) در لابراتوار دانشگاه ورتسبورگ سرگرم مطالعه اشعه کاتدی بود متوجه تشعشع جدیدی گردید که درست در آن نقطه از آند ظاهر میگشت که یک دسته الکترون فرود می‌آمد.

خواص غیر عادی این تشعشع وحشت و هراسی غیرعادی بر انگیخت، زیرا تشعشع بدون هیچ اشکالی از بدن انسان میگذشت و حتی بدرون صندوق‌های آهنین نفوذ میکرد. سر انجام در سال ۱۹۱۲ دو نفر از فیزیک‌دانان آلمانی والتر فردریک (متولد ۱۸۸۳) و پائول کنیپینگ (۱۸۸۳ — ۱۹۳۵) بنابر پیشنهاد ماکس فن لاوه** (۱۸۷۹ — ۱۹٦۰) این اشعه را از بلور عبور داده و قابلیت انترفرانس و پراش را در آنها مشاهده کردند. و این بدان معنی بود که اشعه X (در آغاز رنتگن آنها را چنین نامید) یک دسته از ذرات نبوده بلکه موج هستند، منتهی بسیار کوتاه روی همرفته از 10^{-7} تا 10^{-10} سانتیمتر.

تنها همین یک اکتشاف برای برهم زدن نظم و ترتیب عادی کار آزمایشگاه‌های جهان کافی بود. اما عصر اکتشافات تازه شروع

Wilhelm Conrad Röntgen *

Max fon Laue **

شده بود. هنوز چند ماهی نگذشته بود که در سال ۱۸۹۶ آنتوان هنری بکرل * (۱۸۵۲ — ۱۹۰۸) تشعشعات نوع جدیدی را کشف کرد که شگفت انگیزتر بود. این تشعشعات خود بخود از قطعه سنگ اورانیم پدید می آمد و عبارت از ذرات بار مثبت داری بود که رزرفورد آنهارا ذره آلفا (ذره— α) نامید. معلوم گردید که آنها چهار مرتبه از اتم هیدروژن سنگین‌تر بوده و بار آن معادل دو بار الکترون میباشد.

برخی مواد (مثلاً سولفور روی ZnS) اگر در معرض تابش یک دسته از اشعه ذره— α قرار گیرند شروع به درخشیدن میکنند. بر اساس همین بود که ویلیام کروکس در سال ۱۹۰۳ دستگاه جرقه‌نما را اختراع کرد. این دستگاهی است که بوسیله آن اشتعال حاصله از برخورد یکان ذره — α را بر صفحه پوشیده از سولفور روی مشاهده کرد.

اگر این دو اختراع امروزه شهرت دارند، معهذا ما یاد آور شدیم زیرا بدون آنها تاریخچه اتم کامل نمیبود.

اتم ها

در آغاز قرن بیستم در عرصه فیزیک تصورات بسیار گوناگون و گاهی هم فانتاستیک و افسانه‌ای درباره ساختمان اتم وجود داشت. مثلا فردیناند لیندمان رئیس دانشگاه مونیخ در سال ۱۹۰۵ اظهار عقیده میکرد که «... اتم اکسیژن دارای شکلی چون حلقه است و اتم گوگرد مثل قرص». بعلاوه تئوری «اتم طوفانی» لرد کلوین نیز بموجودیت خود ادامه میداد که طبق آن اتم بشکل حلقه‌های دودی است که شخص سیگاری با تجربه‌ای از دهان خود خارج میسازد. (ضمناً بویژه درباره آن است که کرشهف میگوید: «این یک تئوری عالی است زیرا هر چیز دیگری را غیر ممکن میسازد». اما اکثریت فیزیک‌دانان به این نتیجه رسیدند که حق با ج. ج. تمسون است که

---

* Henri Becquerel (آنتوان — نام پدرش است که معمولاً در اسامی اروپائی ذکر نمیشود. م.)

میگوید اتم — یک گویچه است بقطر 10^{-8} سانتیمتر که بطور همگون دارای بار مثبت بوده و در درون آن الکترون‌های منفی شناورند که ابعاد آنها تقریباً معادل 10^{-13} سانتیمتر میباشد. خود جی جی — شاگردانش چنین اورا می‌نامیدند، نسبت به مدل خود چندان شور و شوقی ابراز نمیداشت. اما برخی دیگر از فیزیک دانان اتم‌را بکلی طور دیگری پیش خود مجسم میکردند، در این باره با صدای رسا هم صحبت میشد. از آنجمله یکی جنستون استونی است که هنوز در سال ۱۸۹۱ چنین میپنداشت «... حرکت الکترونها در اطراف اتم نظیر حرکت اقمار سیارات است» و دیگری ژان پرن است که درسال ۱۹۰۱ سعی داشت «ساختمان هسته‌ای — سیاره ای اتم» را پیش خود مجسم دارد، و یا فیزیکدان ژاپنی خانتارو نا گائوکا در سال ۱۹۰۳ معتقد بود که «فضای درونی اتم با مقایسه با ابعاد هسته کوچک الکتریکی که آنرا بوجود آورده فوق‌العاده بزرگ میباشد و بدیگر سخن، اتم جلوه‌گر یک نوع سیستم نجومی شبیه بحلقه زحل میباشد». خیلی‌ها با این عقیده موافق بودند نظیر سر اولیور لوج، فیزیک‌دان فرانسوی پل لانژون، دانشمند نروژی کارل آنتون بیرکسن (۱۸۲۵ — ۱۹۰۳) و بسیاری دیگر. کافی است که یاد آور شویم که حتی لورنس و لارمور در سال ۱۸۹۶ از نظریه ساختمان سیاره‌ای اتم برای توضیح کشف زیمرمان درباره پدیده شکافت طیف خطی در میدان مغناطیسی استفاده کردند.

برخی دیگر مثل پطر نیکلایویچ لبدف نظیر چنین افکاری را فقط در یادداشتهای روزانه خود مورد تائید قرار میداد: در سال ۱۸۸۷ او تصور میکرد که بسامد تشعشعات اتم‌ها را همان بسامد گردش الکترونها در مدار معین میسازد.

اما هیچیک از هواداران نظریه ساختمان سیاره‌ای اتم نتوانست این چیز اصلی یعنی پایدار ماندن این سیستم‌را که عبارتست از مرکز مثبت و الکترونهای منفی که بدور آن میچرخند توضیح دهد.

حقیقتاً هم وقتی الکترونها با شتاب در مدار مدوری میچرخند، پس طبق تئوری ماکسول — لورنس باید برای تشعشع مقداری انرژی مصرف کنند. با دانستن ابعاد اتم بسادگی میتوان $v \approx 2 \times 10^{8}$ cm/s سرعت حرکت الکترونها را در مدار و $a \approx 10^{25}$ cm/s^{2}

شتاب مایل بمرکز را ارزیابی کرد. در صورت چنین شتابی، تشعشعات باید آنقدر شدت داشته باشند که الکترونها حتماً پس از 10^{-11} ثانیه بمرکز جاذبه مثبت برسند و موجودیت چنین «اتمی» پایان سپذیرد.

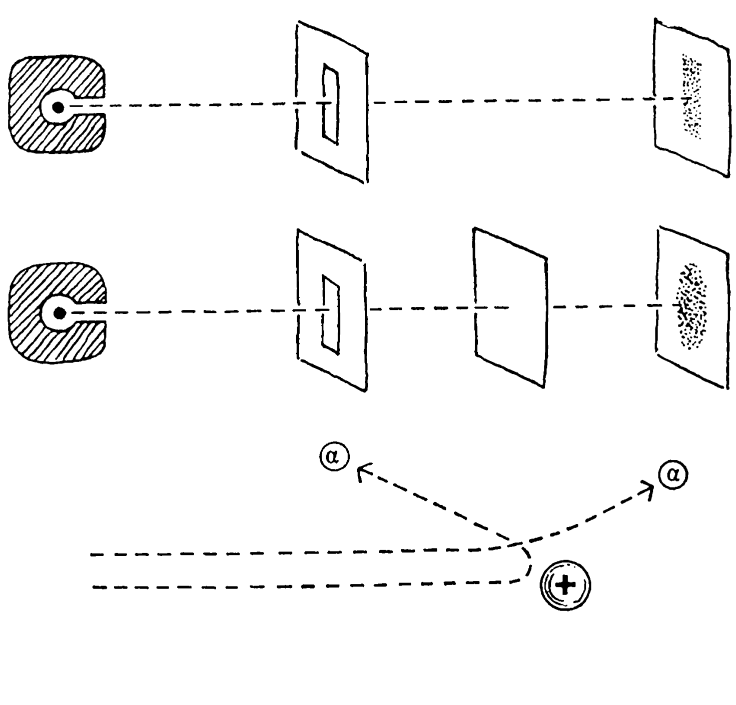
در طبیعت چنین چیزی رخ نمیدهد، اتم واقعی نه فقط استوار و پایدار است بلکه ساختمان خود را پس از اختلال ترمیم میکند و این در نظر اول به نفع مدل تمسون میباشد. لکن بیش از دویست سال است در علم فیزیک این قاعده مورد قبول است که تصمیم نهائی در انتخاب فرضیه‌های صحیح، فقط و فقط با تجربه است. چنین تجربه‌ای را در سال ۱۹۰۹ ارنست رزرفورد * (۱۸۷۱ — ۱۹۳۷) بکمک «پسرانش» بموقع اجرا گذاشت.

آدم چاق و چله و پر سرو صدائی را در نظر آورید که ناچار است در اطاق تاریکی نشسته و با نظر انداختن در میکروسکپ تعداد جرقه زدنها (سینتیلاسیون ماخوذ از کلمه لاتینی Scintilla یعنی جرقه) ذره آلفا را در جرقه‌نما بر شمارد. البته کار طاقت فرسائی است، هنوز دو دقیقه نگذشته است که دیدگان فرسوده میشوند. پژوهشگر با سابقه‌ای مثل هانس هیگر (۱۸۸۲— ۱۹٤٥) و دستیار ۲۰ ساله اش ارنست مارسدن با دستگاه خود بکمک او میشتابند. دستگاه آنها ساده و عبارت بود از یک آمپول از رادیوم C که ذره آلفا پخش میکرد، دیافراگمی که فقط دسته خیلی باریکی از این اشعه‌را بسوی صفحه پوشیده شده از سولفور روی هدایت میکرد و بالاخره یک میکروسکپ که بوسیله آن جرقه زدنهای ذره آلفا مشاهده میگردید. محل بعدی ظهور جرقه‌را نمیتوان پیش‌بینی کرد، زیرا بطور نا منظم پدید میاید ولی باهمه این، روی‌همرفته تصویر شکاف دیافراگم بقدر کافی دقیق بر صفحه نقش می‌بندد. لکن اگر بر سر راه اشعه ذره آلفا بین صفحه و دیافراگم زرورق فلزی قرار داده شود، ملاحظه خواهد شد که بجای تصویر مشخص شکاف دیافراگم، نواری بر صفحه نقش میبندد. این نوار فقط کمی از تصویر شکاف که در تجربه اول بدست آمد پهن‌تر است، یعنی در حقیقت ذره آلفا بطور متوسط رویهمرفته ۲

Ernest, lord Rutherford of Nelson *

درجه از خط مستقیم منحرف شده است. ولی محاسبات ساده‌ای نشان میدهد که حتی برای توضیح چنین انحراف ناچیزی باید فرض شود که در اتم‌های زرورق باید میدان الکتریکی عظیمی با اختلاف سطحی بیش از ۲۰۰ هزار ولت بر سانتیمتر ظاهر گردد تا موجب چنین انحرافی گردد.

در گویچه مثبت اتم تمسون چنین اختلاف سطحی نمیتواند وجود داشته باشد. تصادم با الکترونها هم بحساب نمی‌آید: چونکه در مقایسه با آنها، ذره آلفا که با سرعت ۲۰ کیلومتر در ثانیه پرواز میکند مثل گلوله توپ است در جوار نخود. با همه اینها راه ذره الفا انحراف پیدا کرده است. در تجسس این معما بود که رزرفورد به مارسدن پیشنهاد کرد که به بیند آیا ذره — α نمیتواند از زرورق بعقب منعکس شود؟ از نقطه نظر مدل تمسون، این پیشنهاد بکلی بی‌معنی بود زیرا گلوله توپ نمیتواند با برخورد به نخود منعکس شود. با همه این نتیجه غیر منتظره بود ولی در عین حال کاملاً قانع کننده، اگر چه باور کردنش مشکل سینمود چون ذره — α واقعاً از زرورق منعکس میشد.



دو سال گذشت و طی این مدت هیگر و مارسدن بالغ بر یک ملیون جرقه شمردند و ثابت کردند که تقریباً از هر ۸ هزار ذره — α فقط یکی بعقب منعکس میشود.

۷ مارس سال ۱۹۱۱ در جلسه جمعیت فلاسفه منچستر که روزی ریاستش را جون دالتون بعهده داشت، گزارش رزرفورد تحت عنوان «پراکندگی اشعه α و β وساختمان اتم» استماع گردید. در آن روز بود که شنوندگان مطلع شدند که اتم همانند منظومه شمسی بوده و مرکب از هسته و الکترونهائی است که در اطراف آن بفاصله‌های تقریبا 10^{-8} سانتیمتر میچرخند. ابعاد هسته بسیار کم و جمعاً از 10^{-12} تا 10^{-13} سانتیمتر است اما تمام جرم اتم در آن مجتمع گردیده است. بار هسته مثبت بوده و تقریباً معادل نصف وزن اتمی عنصر میباشد. مقایسه با منظومه شمسی تصادفی نیست زیرا قطر خورشید ($1{,}4 \times 10^{6}$ کیلومتر) تقریباً بهمان اندازه کمتر از اندازه منظومه شمسی (6×10^{9} کیلومتر) است که قطر هسته (تقریباً 10^{-12} سا نتیمتر) کمتر از اندازه اتم (تقریباً 10^{-8} سانتیمتر).

ما آنقدر به مفاهیم تازه عادت کرده‌ایم که وقتی میخواهیم علم الکترونیکی‌را تشریح کنیم به تلویزیون استناد میکنیم، وقتی از مکانیک سخن میگوئیم لکوموتیف را مثال می‌آوریم. از این رو اکنون برای ما مشکل است حیرت آنروزی دانشمندانی را که از لحاظ قدرت عقلانی همپایه رزرفورد بودند درک کنیم. واقعاً امروزه برای ما از روز روشن‌تر است که ذره — α از هسته اتم منعکس میشود و با چنین منظره‌ای ما از کودکی خو گرفته ایم. اما ترسیم نخستین بار آن جسارت علمی برجسته‌ای مبتنی بر اطلاعات دقیقی که رزرفورد با زحمات زیادی بدان دست یافته بود لازم داشت. قبل از آنکه این منظره برای هرکس معلوم گردد، نه تنها لازم آمد بیش از یک ملیون جرقه شمرده شود بلکه (همانطوریکه هیگر در پایان عمر بخاطر می‌آورد) میبایست «...موانعی از سرراه برداشته میشد که امروز معنایش را هم نمیتوانیم درک بکنیم»، میبایست اول طی ده سال (!) ثابت و ثابت میشد که ذره — α چیزی نیست مگر همان اتم هلیوم که دو الکترون از دست داده باشد. معلوم گردید که استدلالات آنقدرها هم ساده نبودند و این مطلب را آکادمی علوم سوئد بخوبی دریافت و نشانه آنهم اعطاء جایزه

نوبل سال ۱۹۰۸ به رزرفورد بخاطر تحقیقاتش در شیمی مواد رادیو آکتیو بود که در نتیجه تباهیشان ذره — α بوجود می‌آید. همه اینها متدرجاً بدست فراموشی سپرده شد. چون نتیجه بدست آمده مهمتر و ساده تر از راه پیموده شده بود.

اطلاعاتی را که رزرفورد داد فیزیک‌دانان با متانت و آرامش پذیرفتند. خود او نیز طی دو سال چندان اصراری برای بکرسی نشاندن مدل خویش نشان نمیداد با اینکه به صحت تجربیاتی که بدان منجر شده بود اطمینان داشت. بهانه همیشه یکی بود: اگر الکترودینامیک را قبول داریم، پس چنین سیستمی نمیتواند وجود داشته باشد، زیرا برحسب قوانین آن، الکترونی که میچرخد، ناگزیر خیلی زود بر هسته سقوط خواهد کرد. لازم شد یکی از این دو انتخاب شود یا الکترودینامیک و یا ساختمان سیاره‌ای اتم. فیزیک‌دانان بی سر و صدا اولی‌را انتخاب کردند. بی سر و صدا از آنرو که تجربیات رزرفورد نمیشد فراموش کرد و نه رد کرد. فیزیک اتمی به بن بست افتاده بود و برای خروج از آن شخصی لازم بود چون نیلس بوهر.

اشعه

علما بزودی دریافتند که بدون وابستگی به فرضیه اتمی هم میتوان با بررسی طیف خطی اتم اطلاعاتی درباره‌اش کسب کرد. (همچنانکه موسیقی‌دان از روی تن صدای سیم طول آنرا تعیین میکند و با آکورد نوع ساز را میفهمد). در علم فیزیک هرگونه تحقیق و بررسی سر انجام به اندازه‌گیری منجر میشود. بنابراین لازم بود قبل از هر چیز اندازه‌گیری بسیار دقیق طول موج را با موشکافی بیشتر از فرائونهوفر محقق ساختمان طیف خطی، میاموختند.

اینکار با طیف نگار منشوری کرشهف و بونزن دیگر ممکن نبود. منشور شیشه‌ای با شبکه پراش * تعویض گردید که نماینده دانش

* شبکه پراش — اسبابی است که برای تجزیه دسته شعاع های X یا سایر امواج الکترومغناطیسی با طول‌های مختلف بکار میرود. م.

نوبنیاد آنروزی امریکا هنری رولند * (۱۸۴۸ — ۱۹۰۱) فوق‌العاده آنرا تکمیل کرده بود.

بکمک این دستگاه بود که کارل رونگه (۱۸۵۶ — ۱۹۲۷) و فردریک کایزر (۱۸۵۳ — ۱۹۴۰) و بویژه آزمایشگاه فردریک پاشن (۱۸۶۵ — ۱۹۴۰) در توبینگن ده‌ها هزار خط طیفی عناصر گوناگون را بدقت اندازه‌گیری و با نظم و ترتیب در جدول بلند بالائی قید کردند. (در سال ۱۹۱۳ شماره کارهای انجام یافته روی تجزیه طیفی ** سر به ۵۰ هزار زد.). از جمله معلوم گردید که خط زرد مشهور D در طیف سدیم از دوخط خیلی بهم نزدیک $D_1 = ۵۸۹۵,۹۲۳۶$ Å و $D_2 = ۵۸۸۹,۹۵۰۴$ Å تشکیل شده است. ($۱۰^{-۸}$ سانتیمتر = ۱ Å یعنی تقریباً معادل قطر اتم).

اما عالیترین وظیفه هر علمی این نیست که به جمع آوری فاکتها بپردازد، بلکه در آنست که رابطه بین پدیده‌ها را معین سازد و علل آنهارا پیدا کند. بر همگان روشن بود که در جدولهای بالا بلند اطلاعاتی بس فراوان درباره ساختمان اتم نهفته است. اما چگونه از آنجا باید استخراجشان کرد؟ (محتملاً مصرشناسان قبل از شامپلون نیز وقتی به هیروگلیف‌ها نگاه میکردند چنین احساسی در خود می آزمودند.)

نخستین گام همیشه مشکل و نا محسوس است. بهمین جهت هم از یوهان یاکب بالمر *** (۱۸۲۵ — ۱۸۹۸) که برای اولین مرتبه سیستمی در هرج و مرج این اعداد پیدا کرد، ما چیز زیادی نمیدانیم. فقط میدانیم که در اول ماه مه ۱۸۲۵ در شهر کوچک لائوزن از ناحیه بازل متولد شده و همانجا هم دبیرستان‌را بپایان رساند و بعداً در دانشگاه‌های کارلسروهه، برلن و بازل بفرا گرفتن ریاضیات پرداخت. در سال ۱۸۶۹ دکتر فلسفه شد و بدانشیاری خصوصی دانشگاه بازل بر گزیده شد. لکن بزودی کرسی پرفسوری را بکنار زد و ترجیح داد

Henry Rowland *

** تجزیه طیفی — تجزیه تشعشعات الکترو مغناطیسی به بسامد ها و یا طول موج های متشکله. م.

Johann Jakob Balmer ***

در دبیرستان بانوان بتدریس فیزیک مشغول گردد. بالمر شصت ساله بود که بیکباره متوجه شد چهار خط طیفی در قسمت مرئی طیف هیدرژن نامنظم قرار نگرفته بلکه یک سلسله تشکیل میدهند که میتوان بصورت یگانه فرمول ذیل نوشت

$$\lambda = b \frac{k^{۲}}{k^{۲} - n^{۲}}$$

که در آن $n = ۲$ و $k = ۳, ٤, ٥, ٦$ و Å $b = ۳٦٤٥,٦$ میباشد

این تناسب ساده سزا وار هرگونه توجهی بود. مطلب در آن بود که این تناسب بقدری دقیق بود که هر کس میتوانست بسهولت خود از آن اطمینان حاصل کند.

به این جدول که در سال ۱۸۸٥ بوسیله بالمر تنظیم شده است توجه کنید:

محاسبه شده بوسیله بالمر	اندازه گیری شده بوسیله آنگستر‌م	n	k
٦٥٦۲,۰۸	٦٥٦۲,۱	۲	۳
٤۸٦۰,۸۰	٤۸٦۰,۷٤	۲	٤
٤۳٤۰,۰	٤۳٤۰,۱	۲	٥
٤۱۰۱,۳	٤۱۰۱,۲	۲	٦

در ستون اول طول موج چهار خط طیفی نامبرده که بنابر فرمول بالمر محاسبه شده و در دومی طول موجی که کمی قبل از آن فیزیک دان سوئدی آندرس یوناس آنگستر‌م * (۱۸۱٤ — ۱۸۷٤) بدقت محاسبه کرده بود قید شده است. تطابق مقادیر اندازه‌گیری شده با محاسبه شده شگفت‌انگیز است. چنین تطابقی نمیتوانست تصادفی باشد. بهمین جهت هم کشف بالمر در کنج بایگانی‌ها نپوسید بلکه به یک رشته کامل از تحقیقات نوین منجر گردید.

---

* Anders Jonas Ångström

اغلب بالمر را بصورت دبیر عجیبی جلوه میدادند که از صفر شروع به ضرب و تقسیم اعداد مختلف کرد تا وقتیکه تصادفاً به رابطه ساده‌ای بین آنها دست نیافت از پای نه نشست. البته این حرفها درست نیست. او شخصی بود با تحصیلاتی ژرف و در مسایل مختلف هندسه ترسیمی مقالاتی نوشته است و همواره با مشکل‌ترین مسائل تئوری ادراک سروکار داشت. مثلاً در سال ۱۸۶۸ اثری منتشر کرد که در آن کوشیده است ارتباط متقابل بین تحقیقات علمی و سیستم های فلسفه جهانی را بیان دارد. او از عنفوان جوانی تحت تاثیر هوا داران فیثاغورس و دانش آنان درباره هم آهنگی و نقش صوفیانه اعداد صحیح در طبیعت قرار گرفت. بالمر چون باستانیان معتقد بود که اسرار یکپارچگی کلیه پدیده‌هائی را که مشاهده میکنیم باید در ترکیب‌های گوناگون اعداد صحیح جستجو کرد. از اینجهت بود که وقتی توجه او به دسته خطوط طیفی دقیقاً محدود جلب شد، باانداره و مقیاس آماده‌ای به این پدیده طبیعی بر خورد کرد. انتظار او بحقیقت پیوست: معلوم شد طول موج خطوط طیفی بین خود با تناسب ساده صحیحی مربوطند.

باکشف بالمر یک عصر کاملی در دانش اتم آغاز گردید. در حقیقت، تئوری اتمی تماماً از فرمول او آغاز شده است. در آن دوران کسی به این آگاهی نداشت ولی آنرا احتمال میدادند و احساس میکردند. در سال ۱۸۸۶ بود که رونگه متوجه شد که اگر در فرمول بالمر بجای طول موج λ بیائیم بسامد $v = \frac{c}{\lambda}$ را قرار دهیم روشن تر خواهد شد،

$$v = \frac{4c}{b}\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{k^2}\right)$$

در سال ۱۸۹۰ فیزیک دان سوئدی یوهان روبرت ریدبرگ * (۱۸۵۴ — ۱۹۱۹) پیشنهاد کرد فرمول را بصورت دیگری بنویسند که تا امروز شکل خود را حفظ کرده است:

Johannes Rydberg *

$$\nu = cR\left(\frac{۱}{n^۲} - \frac{۱}{k^۲}\right)$$

در اینجا: c سرعت نور، n، k اعداد صحیح اختیاری، هستند که ما با آنها آشنا می‌باشیم و عدد $R = ۱۰۹۶۷۷,۵۹۳۷\ \mathrm{cm}^{-۱}$ را از آن زمان «ثابت ریدبرگ» برای اتم هیدرژن مینامند. اگر در این فرمول $n = ۲$ فرض شود، تمام سلسله بالمر را میتوان حساب کرد که بعدها تا $k = ۳۱$ اندازه گیری شد.

همان زمان چنین فکری پیش آمد که بسامد ν را بصورت تفاوت عدد ترمی T_n و T_k نوشته شود:

$$\nu = \frac{cR}{n^۲} - \frac{cR}{k^۲} = T_n - T_k$$

عجالتاً در چنین یادداشتی فکر ژرفی دیده نمیشود. اما در سال ۱۹۰۸ دانشمند جوان سویسی که عمرش دیری نپائید والتر ریتس (۱۸۷۸ — ۱۹۰۹) برتری چنین شکل یادداشتی را توضیح داد. ریتس کار ریدبرگ را دنبال کرد و باصطلاح یک اصل ترکیبی را بدین صورت فرمولبندی کرد: بسامد ν هر خط اختیاری در طیف هر اتمی را میتوان بصورت تفاوت دو ترم T_n و T_k مجسم کرد:

$$\nu_{nk} = T_n - T_k$$

حتی در صورتیکه نتوان ترم T_n را بصورت جداگانه در شکل ساده‌ای مانند اتم هیدرژن نوشت.

در نظر اول در این کار هیچ بردی دیده نمیشود: ما فقط از دسته‌ای بسامد به دسته‌ای ترم رفته‌ایم. اما حقیقتاً اینطور نیست: اگر شما سعی کنید کتابی را که کلماتش همه بهم متصل بوده و فاصله‌ای بین آنها وجود نداشته باشد بخوانید، آنوقت این تفاوت و برد را خواهید فهمید، بویژه اگر این کتاب بزبان ناآشنائی هم باشد. علاوه بر این اعداد به نسبت زیادی تقلیل می‌یابد، مثلاً برای تعیین بسامد ۵۰ خط هیدرژن که در آغاز قرن جاری معلوم بود، کافی است فقط ده ترم را بدانیم.

بدین ترتیب بطور غیر منتظره‌ای در هرج و مرج اعداد سیستمی پیدا شد. دسته خطوط بینظم و ترتیب به سلسله‌هائی تجزیه شد و در آن کتاب نامفهوم هم جدا کردن کلمات از هم ممکن گشت و در ساده‌ترین رویدادها مثل اتم هیدرژن، ممکن شد حتی حروفی را که از آنها تشکیل شده است دید. اما معنی کلمات و مبداء حروف همچنان نامعلوم ماندند، هیروگلیف ها بسخن در نیامدند اگر چه دیگر به معما نمی‌ماندند.

در حقیقت کوشش برای درک ساختمان طیف، همان تلاش تقریباً کور کورانه برای کشف رمز متن نا آشنا را بیاد میآورد. این کار طاقت فرسا بیش از یکربع قرن بطول کشید و عدم وجود یک نظر یه کلی، موجب دور ماندن خردهای ژرفی از آن گردید. لازم بود کلیه رمز را پیدا کرد.

این کار را نیلس بوهر در سال ۱۹۱۳ انجام داد.

کوانت‌ها

تشعشعات از درون اتم پدید می آیند ولی وقتی آنرا ترک کردند دیگر وجود مستقلی دارند و گاهی از امواج دارای یک طول تشکیل میشوند که در آنصورت آنرا یک تک رنگ می‌نامند. طیف خطی اتم مرکب از دسته‌ای اشعه یک تک رنگ بوده و این دسته‌ها برای اتم‌های مختلف متفاوت خواهند بود.

تا بحال غالباً فقط یک خصوصیت امواج یعنی بسامد ν آنها مورد توجه ما بود. در صورتیکه اشعه، پدیده بغرنجی بود و خصوصیت‌های آنهارا نمیتوان به تنها بسامد تشعشع محدود کرد. اشعه آفتاب در عین حال که شفافند کاملاً مادی بوده و حتی دارای وزن است بطوریکه در هر دقیقه به هر سانتیمتر مربع سطح زمین ۲×۱۰^{-۱۵} گرم نور میریزد. این مقدار که در نظر اول ناچیز می‌آید معرف آنست که در سال ۸۰ هزار تن اشعه آفتاب بر سطح کره ارض پاشیده میشود. این تن‌ها اشعه برانگیزنده سیر دورانی ماده در طبیعت بوده و در نتیجه نهائی تمام زندگی بر روی زمین فقط به برکت خورشید موجود است.

اثر تشعشعات‌را ساده‌تر از همه با امواج دریا که بسوی ساحل

میشتابند میتوان مقایسه کرد و بویژه پس از انتشار آثار کریستیان هوی‌گنس * (۱۶۲۹ — ۱۶۹۵) و آ گوستین فرنل ** (۱۷۸۸ — ۱۸۲۷) چنین مقایسه‌ای مسلم و بدون تردید گشت. هر سال دلیل تازه‌ای بر انترفرانس و پراش نور اضافه میشد. در سال ۱۸۷۳ جیمس کلارک ماکسول *** (۱۸۳۱ — ۱۸۷۹) از نظر تئوری پیش‌بینی کرد نوری که بر جسم میتابد، باید بر آن فشاری وارد آورد (کاملاً مطابق مقایسه ما). فشار نور یک اثر بسیار ظریفی است ولی با همه این پطر نیکلایویچ لبدف **** (۱۸۶۶ — ۱۹۱۲) در سال ۱۸۹۹ موفق شد آنرا بطور تجربی ظاهر سازد. معلوم گردید که حالا طبیعت موجی نور بقدری مستدل میباشد که هرگونه تجربه بعدی برای آزمایش آن فاقد معناست.

خوشبختانه تجربیات فیزیکی فقط برای آزمون تئوری صورت نمیگیرد. در آن زمان هم وقتی لبدف آزمایش مشهور خود را به پایان رساند، آزمایش دیگری وجود داشت که همانقدر دقیق ولی نا مفهوم تر بود. در سال ۱۸۸۷ هنریش رودلف هرتس ***** (۱۸۵۷ — ۱۸۹٤) (همان کسی که طبیعت موجی تشعشعات الکترو مغناطیسی را ثابت کرد و همینطور هم حقانیت سرا پای الکترو دینامیک ماکسول را) پدیده‌ای را یافت که بعدها اثر نورابرقی ****** نامیده شد. اصل آن از قرار زیر است:

اگر نور لامپ جیوه‌ای را (اکنون چنین لامپهائی را کوارتزی می نامیم) بر فلز سدیم بتابانیم، آنوقت از سطح آن الکترون خواهد جهید.

در پایان قرن گذشته بیشتر علمای فیزیک آشکارا اعلام میداشتند

Christian Huygens *

Augustin Fresnel **

James Clerk Maxwell ***

Petr Nikolaievitch Lebedev ****

Heinrich Hertz *****

****** اثر نورابرقی یا اثر فوتوالکتریک — اثری است که نتیجه انتقال یافتن انرژی از نور تابنده به الکترونهای یک جسم می‌باشد. م.

که اتم بغرنج می‌باشد و از اینرو خود بخود این پدیده کسی را متحیر نمیسازد. خیلی زود همگان توافق حاصل کردند که در آزمایش هرتس الکترونها تحت تاثیر تشعشعات لامپ کوارتز از سدیم بیرون جهیده‌اند.

شگفت‌آور و نا مفهوم چیز دیگری بود یعنی قوانین این پدیده که فیلیپ لنارد * (۱۸۶۲ — ۱۹۴۷) و آلکساندر گریگورویچ ستولتف ** (۱۸۳۹ — ۱۸۹۶) در سرز قرن بیستم مقررشان داشتند. این دانشمندان تعداد الکترونهای خارج شده و سرعت آنها را در وابستگی به شدت و بسامد تشعشعات تابیده شده اندازه‌گیری کردند.

ما اکنون دیگر میدانیم اشعه‌ای که از درون اتم پدیدار گشته‌اند، تفاوتشان بین هم نه تنها برحسب λ طول موج (یا همچنین ν بسامد) است بلکه همچنین برحسب شدت هم میباشد. اینرا آشکارا در طیف نما میتوان دید: در آنجا برخی از خطوط نسبت به دیگران درخشان ترند، مثلاً در زرد دوتائی سدیم، خط D_2 دو مرتبه از خط D_1 درخشان تر است.

تجربیات قبلی ما و اطلاعاتمان درباره امواج بما نشان میدهد که هرچه دامنه*** موج بیشتر باشد اثر آن مشخص تر است: برای آنکه این موضوع برایمان مسلم شود کافی است هنگام طوفان به کنار دریا برویم. پس بدینجا میرسیم که با افزایش دامنه، ما شدت اشعه را زیاد کرده‌ایم. شدت تشعشعات را بطریق دیگری هم میتوان زیاد کرد: یعنی بوسیله افزایش تعداد اتم‌های تشعشع کننده. بنابراین اگر بجای یک لامپ جیوه‌ای دو، سه، ... ده تا برداریم آنوقت شدت تشعشعات بهمان نسبت زیاد تر خواهد شد. طبیعی است که انتظار داشته باشیم انرژی الکترون های پخش شده نیز با چنین تناسبی افزایش یابد.

---

* Philipp Lenard

** Aleksandr Grigorievitch Stoletov

*** دامنه یا آمپلیتود — بیشترین مقداری است که یک کمیت متناوب نسبت بوضع تعادل خویش پیدا میکند. م.

اما انرژی اتم‌ها همچنان که بود باقی میماند و فقط تعداد آنها تغییر میکند.

چنین بود عدم مطابقتی که در پایان تجربیات در انتظار دانشمندان بود. در عوض انرژی به بسامد تشعشعات تابنده وابسته بود و آنهم بطور قابل ملاحظه‌ای.

لامپ کوارتزی اشعه بنفش و فرابنفش تشعشع میکند. آشکار گردید که اگر بجای این اشعه ما سیلی از اشعه قرمز بر سطح سدیم بتابانیم، آنگاه اصلاً الکترونی پرواز نخواهد کرد، هر قدر هم که تعداد لامپ‌هارا زیاد بکنیم.

— برخی میگفتند: اگر تشعشع یک جریان موجی است (این جداً ثابت شده بود) پس در آنصورت چنین نباید باشد.

— در پا سخشان معترضانه میگفتند: آخر این که صورت میگیرد!

اگر در کنار دریا چند صخره‌ای ناگهان و بسرعت در برابر چشمان شما فرو ریزد، به احتمال زیاد شما در جستجوی علل ظاهری این حادثه برخواهید آمد. البته امواج دریا کناره را متدرجاً میشوید و گاه بگاه صخره‌ای هم فرو میریزد، اما همه میدانیم که این بسیار نادر است. لکن اگر هنگامیکه مشغول تماشای منظره دریا هستید، متوجه یک کشتی جنگی شوید که با توپخانه سنگین بساحل تیراندازی میکند، فوراً شما حدس خواهید زد که علت فرو ریختن ناگهانی صخره، امواج نبوده بلکه خود گلوله‌ها بوده است. اگر چه انرژی آنها نسبت به انرژی کلی امواج دریا بمراتب کمتر است. انرژی امواج دریا بطور مساوی بر تمام ساحل تقسیم میشود و قرنها لازم است تا ما نتیجه کار روزانه آنها را مشاهده کنیم. انرژی گلوله در مقایسه با این کار ناچیز است، در عوض در حجم کوچکی متمرکز گشته و در لحظه آزاد میشود. اگر علاوه بر آن، گلوله بقدر کافی قوی باشد، آنگاه صخره را در هم میریزد. اگر چه گلوله تفنگ تمام خواص گلوله توپ را بجز ابعادش دارا می باشد، معذلک از عهده درهم فرو ریختن صخره بر نخواهد آمد.

اینشتین در توضیح پدیده اثر نورابرقی تقریباً همینطور قضاوت میکند. او از کشف پلانک آگاهی داشت، اما فرضیه کوانتهای نور در برابر طرز تفکر خردمندانه او، آنقدر ها هراس‌انگیز نبود که برای

خود پلانک. از همین رو نیز او نخستین کسی بود که نه تنها آنرا باور کرد بلکه برای توضیح تجربیات نوین بکارش هم برد. اینشتین ثابت کرد که نور نه تنها با کوانتها تابیده میشود همانطوریکه فرضیه پلانک معتقد است، بلکه همچنین با کوانتها انتشار می‌یابد. به اینجهت نور تابیده شده بر سطح فلز همانند امواج دریا نیست بلکه نظیر گلوله توپ است. ضمناً هر یک از چنین گلوله کوانتائی فقط میتواند یک الکترون از اتم خارج نماید.

بعقیده پلانک (بخش نخست را بخاطر بیاورید) انرژی گلوله کوانتائی معادل است با $h\nu$ که بنابر فکر اینشتین، قسمتی از آن که P نام میدهیم صرف کندن الکترون از اتم شده و بقیه اش صرف راندن آن تا سرعت v یعنی دادن انرژی جنبشی * $\frac{mv^2}{2}$ بدان میشود. هر دوی این تائیدها را میتوان مختصراً بصورت معادله ساده ذیل نوشت:

$$h\nu = P + \frac{mv^2}{2}$$

جا دارد این فرضیه را پذیرفت تا پدیده اثر نورابرقی روشن و آشکار گردد. واقعاً هم تا وقتیکه ابعاد گلوله‌ها کوچک است (نور قرمز) آنها قادر نیستند الکترون از اتم جدا سازند $(h\nu < P)$ هر قدر هم که از آنها زیاد پرتاب کنیم. اما وقتی ما شروع به بزرگ کردن ابعاد آنها میکنیم (نور بنفش) سر انجام انرژی آنها آنقدر زیاد میشود که کافی خواهد بود برای برکندن الکترون $(h\nu > P)$. اما انرژی «گلوله‌های کوانتائی» باز همچنان فقط به ابعاد آنها وابسته خواهد بود (یعنی به بسامد ν آنها نه به تعداد آنها).

پس از گذشت ۱۶ سال آکادمی علوم سوئد معادله ساده و عمیق اینشتین را لایق جایزه نوبل شمرد. ولی در سال ۱۹۰۵ وقتی برای نخستین بار معادله نوشته شد، همگان به آن حمله ور شدند حتی پلانک.

---

* انرژی جنبشی یا انرژی سینتیک — انرژی است که یک جسم در نتیجه حرکت خود پیدا میکند. م.

او اینشتین را دوست داشت و بهمین جهت هم هنگامیکه وزارت فرهنگ پروس را برای دعوت او بکار در برلن متقاعد میساخت خواهش کرد که فرضیه پدیده‌های اثر نورابرقی را «... خیلی هم زیاد در مضیقه نگذارند».

پلانک را میتوان درک کرد: همین اواخر بود که او علیرغم رسم مورد قبول همگان و میل خودش، کوانتای عمل h را وارد فیزیک کرد. اجتناب ناپذیری این گام فقط خیلی بتدریج در فکر او جای گرفت. حتی در سال ۱۹۰۹ او به اینشتین اعتراف کرد که «من هنوز هم اعتقاد زیادی به واقعی بودن کوانت نوری ندارم». اما کار از کار گذشته بود و بقول اینشتین که پس از ۲۰ سال گفت: «... پلانک، ککی بگوش فیزیک‌دانان انداخته بود». این مسئله نمیگذاشت آنان آرام بگیرند، اگر چه‌خودشان سعی داشتند آنرا نادیده بگیرند. در هر حال پلانک سعی داشت کوانتای عمل را طوری جلوه دهد که به اپتیک موجی صدمه وارد نیاید، همان بنای فوق‌العاده زیبائی که طی دویست سال بنا گشته بود. بدینجهت بنظر پلانک نور فقط با کوانتها تابیده میشود و اما هم‌چون گذشته مثل موج انتشار می‌یابد، فقط به این صورت بود که ممکن گردید کلیه نتایج اپتیک موجی را حفظ کرد.

اما رفتار اینشتین چنان بود که گویا تا قبل از او بطور کلی فیزیک وجود نداشت و یا حداقل مثل شخصی رفتار میکرد که از حقیقت طبیعت نور بوئی نبرده بود. در اینجا خودویژگی برجسته اینشتین ظاهر میگردد: منطقی بحد کمال داشت و به محسوسات درونی و واقعیات بیشتر اعتماد داشت. برای او در فیزیک فاکت تصادفی وجود نداشت. از این رو بود که او در پدیده‌های اثر نورابرقی استثناهای قواعد اپتیک موجی را قابل تاسف ندانسته بلکه اشاره طبیعت به موجودیت قوانین نا معلوم ولی ژرفی میدانست.

چنین پیش آمده بود که از لحاظ تاریخی آموزش و بررسی خواص موجی نور اول آغاز شده بود. دانشمندان فیزیک برای نخستین بار در پدیده‌های اثر نورابرقی بود که با خواص ذره‌ای آن برخورد کردند. اکثر آنها دچار چنان لاقیدی فکر بودند که از باور داشتن آن سر باز زدند. پشت سر هم تکرار میکردند که «غیر ممکن است!»، درست

مثل صاحب مزرعه‌ای که برای اولین بار در زندگی چشمش به زرافه افتاده باشد.

البته اینشتین تاریخچه اپتیک را کمتر از دیگران نمیدانست. اما عقل و خرد مستقل او با خونسردی به اعتبار بلند پایه آن مینگریست. او برای کلیه خدمات گذشته علم اپتیک وقتیکه قادر نبودند یگانه تجربه ولی در عین حال بی چون و چرائی را توضیح دهند، دیگر ارزشی قایل نبود. او عمیقاً و حتی تقریباً متدین به یگانگی طبیعت بود و برایش یک چنین تجربه‌ای ارزش کمتری از سراسر تاریخچه اپتیک نداشت. وجدانش اجازه نمیداد از فاکتهائی که مورد دلخواه نبودند چشم بپوشد.

در علم چیزی که واقعاً خطرناک است فقط تجربه غلط است، زیرا تجربه را قاعدتاً باید پذیرفت، اما هر فرضیه‌ای را هر قدر هم جالب توجه بنظر آید، همیشه بادقت می‌آزمایند. حتی گاهی اگر فرضیه غلط است آزمایشی که غلط بودن آنرا ثابت کرده است، خود به نتایج ارزنده‌تر از آن فرضیه منجر میشود. فرضیه اینشتین را آزمودند، معلوم شد آن حقیقی است.

در سال ۱۹۱۱ روبرت میلیکن که معادله اینشتین را بازرسی میکرد، از آن رقم ثابت پلانک h را بدست آورد. این رقم با آنچه پلانک در تئوری تشعشعات حرارتی بدست آورده بود تطبیق میکرد. بزودی تجربه‌ای را بموقع عمل گذاشتند که فکر و ایده آن درست مشابه منظره در هم فروریختن صخره کنار دریا بود. و بار دیگر معلوم شد که اینشتین محق است نه شهرت و اعتبار علم اپتیک موجی.

البته با همه این اینشتین منکر وجود آن نبود و با تجربیاتی که طبیعت موجی نور را مدلل میکرد مخالفت نداشت. او فقط تضاد حاصله را به پایان منطقی‌اش رساند و گذاشت فیزیک‌دانان نسل‌های آینده آنرا حل کنند. بعلاوه در سال ۱۹۰۹ طی سخنرانی خود در ۸۱ـ مین جلسه جمعیت طبیعت‌شناسان آلمانی در شهر زالتسبورگ پیش‌بینی کرد که «فیزیک نظری در مرحله دوم پیشرفت خود تئوری نور را بما خواهد داد که بمفهومی همان همبسته تئوری موجی نور با تئوری جریان خروجی خواهد بود». پس از گذشت ۲۰ سال این پیش‌بینی او جامه عمل پوشید.

با وجود اعتراضات متفق‌القول، فکر کوانتای نور معدوم نگردید، و هشت سال بعد جوانه نیرومندی از آن سر برکشید. این در سال ۱۹۱۳ اتفاق افتاد و هنگامی بود که یک نفر دانمارکی خجول و آرام بنام نیلس بوهر به آزمایشگاه ررزفورد پیوست.

پیروزی نهائی اتمیست‌ها

بیستم ماه مه سال ۱۹۰٤ در منچستر که جون دالتون، بهترین دوران فعالیت علمی خود را در آنجا گذرانده بود، با شکوه و جلال خاص سنن انگلیسی‌ها و مناسب با حوادث پر اهمیت، صدمین سال روز تئوری اتمی ماده برگذار گردید. پیروزی این تئوری بیکباره بدست نیامده بود، حتی پس از تجربیات و آثار دالتون هم تا مدتهای درازی به تئوری اتمی ماده باز هم بمثابه «... یک فرضیه جالب و مجاز از نقطه نظر استعداد معرفت ما» نگاه میکردند. همدلی که فلاسفه قرن گذشته در رد کردن موجودیت اتمها از خود نشان میدادند، سبب شد که اعتقاد فیزیک دانان به واقعیت اتمها متزلزل گردد. مثلاً فیلسوف و دانشمند فیزیک ارنست ماخ (۱۸۳۸ — ۱۹۱٦) بدون پرده پوشی کلیه اتمیست‌ها را «جمعیت متدین ها» نامید و هرگاه کسی سعی میکرد توجه او را به این اعتقاد جلب کند، با این سؤال حرفش را قطع میکرد که «آیا شما حتی یک دانه از اتم‌ها را دیده‌اید؟» تنها در سال ۱۹۱۰ بود که وقتی او جرقه ذره — α را روی صفحه جرقه‌نما مشاهده کرد، با متانت وغرت نفس گفت: «اکنون بموجودیت اتم‌ها اعتقاد آوردم».

احساسات ماخ قابل درک است: برای انسان مشکل است چیزی را که از نقطه نظر اصولی دیگر تقسیم‌ناپذیر است جلو چشمش مجسم کند. با همه این ایده اتم در اوایل عصر حاضر بطور نهائی پیروز گردید: خرد قابلیت تفهم خود را حتی از چیز هائی که تصورشان هم مشکل است بظهور رساند. پیشگوئی لود و یک بلتسمان* (۱۸٤٤ — ۱۹۰٦) که کنج عزلت بطور فاجعه‌آمیزی مغروق بود

---

* Ludwig Boltzmann

و معاصرین او را درک نمیکردند خیلی زود تر از ۳۰۰ سالی که او فکر میکرد جامه عمل پوشید.

اما با همه اینها این پیروزی کمی به تاخیر افتاد زیرا بعد از اقدامات تمسون و رزرفورد مفهوم «اتم» معنای قبلی خود را از دست داده بود. معلوم و روشن گردیده بود که اتم — ساده‌ترین جزء ماده نیست اگرچه نمیتوان آنرا بطور شیمیائی تجزیه کرد. اینشتین میگوید «متاسفانه قوانین طبیعت وقتی کاملاً قابل فهم میگردند که دیگر صحیح نیستند». البته این بدان معنی نیست که قوانین در عین زمان کلیه معانی خود را از دست میدهند. در تاریخچه اتم — صرف نظر از پیروزیهای بعدی علم — دلایل گواه بر موجودیت آن (حتی در معنی قدیمی α τομοσ تقسیم‌ناپذیر) باز هم چنان بصورت یکی از مهمترین پیروزیهای آن باقی خواهد ماند. درست هم چنانکه وقتی ما از طلوع و غروب آفتاب و از اتم حرف میزنیم چیزی غیر از آنچه یونانیان باستان تصور میکردند، میفهمیم.

تثبیت نهائی تئوری اتم هم با نام اینشتین مربوط است: زیرا در همان سال ۱۹۰۵ اینشتین بدون رابطه‌ای با فیزیک دان لهستانی ماریان اسمولوخوسکی (۱۸۷۲ — ۱۹۱۷) تعریف ریاضی حرکت براونی را ارائه داد. تئوری او را ژان پرن که در سال ۱۹۰۹ با مشورت لانژون منظماً و با دقت مشغول آزمایش حرکت براونی گشت، بطور تجربی ثابت کرد. تا قبل از پرن فیزیک‌دانهای بسیاری معتقد بودند که در حقیقت علت این حرکت همانا تکان ملکولهای مایعات میباشد که حتی با عالیترین میکروسکپ ها هم بچشم نمی‌آیند. تجربیات پرن که از لحاظ ظرافت حیرت‌انگیز بود نه فقط بحق بودن این اظهارات‌را تائید کرد بلکه از آنها بدون کم و کاست نتیجه گرفت که: حرکات نا مفهوم ذرات در مایعات، درست همان مدل حرکت واقعی ملکولهای نامرئی است که چند هزار مرتبه بزرگ شده باشد. بنابراین، وقتی حرکت براونی ذرات را مطالعه میکنیم، ما همان منظره حرکت ملکولهای نامرئی را بدست می‌آوریم (درست همانطوریکه اطلاعات درباره خواص امواج رادیوئی، تصوری از امواج نور و حتی از اشعه ایکس را بما میدهد).

پس از این اقدامات بود که فرضیه اتم را همگان پذیرفتند، حتی

دشمن مشهورش ویلهلم استوالد (۱۸۵۳ — ۱۹۳۲). در سال ۱۹۰۹ خود رزرفورد که ساختمان بغرنج اتم را ثابت کرده بود، با همکاری روئیدس دلایل قانع‌کننده‌تری برای ساختمان اتمی ماده ارائه دادند. چنین بود جریان کار.

از خیلی قدیم متوجه شده بودند که در مواد معدنی که دارای مواد رادیوآکتیوی مثل توریم، اورانیوم و رادیوم هستند هلیوم جمع میشود. حتی اندازه گرفته بودند که از یک گرم رادیوم در حالت تعادل رادیو آکتیو روزانه ۰٫۴۶ میلیمتر مکعب هلیوم متصاعد میشود یعنی $۵٫۳۲ \times ۱۰^{-۹}$ سانتیمتر مکعب در ثانیه. پس از مشخص شدن طبیعت ذره — α دیگر هیچ چیز شگفت آوری در این فاکت نبود. ولی رزرفورد به این قانع نشد، تعداد ذره — α را که از یک گرم رادیوم در یک ثانیه متصاعد میشود محاسبه کرد. معلوم شد بسیار زیاد است، اما کاملاً معین و معادل $۱۳٫۶ \times ۱۰^{۱۰}$ ذره بر گرم در ثانیه میباشد. تمام این ذره — α ها هر یک دو الکترون گرفته و تبدیل به اتم هلیوم میگردند و حجمی معادل $۵٫۳۲ \times ۱۰^{-۹}cm^{۳}$ را اشغال می‌نمایند. در نتیجه هر یک سانتیمتر مکعب دارای:

$$L = \frac{۱۳٫۶\times۱۰^{۱۰}}{۵٫۳\times۱۰^{-۹}} = ۲٫۵۶ \times ۱۰^{۱۹} \text{ اتم}$$

میباشد. اما این همان عدد لوشمیدت است که براساس فرضیه سینتیک ملکولی محاسبه کرده بود! واقعاً هم یک اتم گرم هلیوم (و یا هر گاز تک اتمی دیگر) حجمی معادل ۲۲٫۴ لیتر اشغال میکند و شامل $۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ اتم است یعنی تعداد اتمی که در یک سانتیمتر مکعب جای دارد معادل است با:

$$L = \frac{۶٫۰۲\times۱۰^{۲۳}}{۲۲٫۴\times۱۰^{۳}} = ۲٫۶۹ \times ۱۰^{۱۹}$$

تطابق این دو عدد حیرت انگیز است.

انسان قبل از آنکه بطور قطع درباره چیزی نظرش را بگوید میخواهد هر طوری شده این چیز را با چشم خود به بیند و این احتیاج مبرم ذاتی اوست. (اگر جدی بگوئیم، هیچ اساسی برای این موجود نیست

چون ما همواره فدای خطاهای باصره میشویم). این نیاز کنجکاوانه ادراک بشری را چارلز تمسون ریس ویلسون* (۱۸۶۹ — ۱۹۵۹) در سال ۱۹۱۱ کاملاً برآورد. او پس از ۱۰ سال کوشش موفق به ساختن محفظه مشهورش گردید که امکان میدهد حرکت ذره — α جداگانه را از روی اثر مه‌مانندی که از خود بجای میگذارد بررسی کرد.

البته اهمیت این اختراع در آن نبود که روح هوس باز بشری را قانع میکرد، بلکه در آن بود که اکنون ابزار نوینی بدست فیزیک‌دانان داده میشد تا ساختمان اتم را مطالعه و پژوهش کنند.

تا سال ۱۹۱۲ برای تعیین عدد آوگادرو ۱۳ طریقه وجود داشت و توضیح پدیده‌های بسیار زیادی که در نظر اول هیچ ارتباطی با هم نداشتند مثل حرکت براونی، رنگ آبی آسمان، تراکم گازها، طیف جسم مطلقاً سیاه، رادیوآکتیویته و قوانین برقکافت، بمقدار عددی آن بستگی دارد. این عدد N خیلی هم بزرگ وانمود شد اما نه بینهایت. اگر چه ما اکنون کلیه تجربیاتی را که سر انجام همه را قانع کرد یاد آور نشدیم، معذلک دیده میشود که عدد N اتم‌ها در ملکول ـ گرم هر ماده دلخواهی با اینکه خیلی بزرگ است اما مسلم است. و مثل تعداد جمعیت روی زمین نمیتواند کسری باشد. بعلاوه عدد آوگادرو $N = ۶{,}۰۲۲۱۶۹ \times ۱۰^{۲۳}$ را ما اکنون از نفوس کره ارض دقیقتر میدانیم.

«اگر در اثر یک فاجعه جهانی کلیه ذخایر اطلاعات علمی بیکباره معدوم گردد و برای موجودات زنده نسلهای آتی فقط یک جمله باقی بماند، آن کدام بیانی میبود که مرکب از حد اقل کلمات و حداکثر اطلاعات باشد؟ بعقیده من این همان فرضیه اتم است (میتوان آنرا واقعیت نامید نه فرضیه — البته این چیزی را تغییر نمیدهد): تمام اجسام مرکبند از اتم‌ها یعنی جسمک های کوچکی که لاینقطع در حرکتند، تا فاصله کمی جذب میشوند و اگر یکی از آنها بدیگری کیپ فشار آورد آنگاه دفع میگردند.

Charles Thomson Wilson *

به این یگانه جمله شامل اطلاعات و دانستنی‌های شگرف درباره جهان، فقط کافی است کمی تصور و قدری هم شعور افزود».

این نقل قولی بود از ریچارد فینمان * از معاصرین ما و دارنده جایزه نوبل سال ۱۹۶۵ در رشته فیزیک و اگر چه این گفته کلمه بکلمه تکرار گفته دموکریتوس است، ولی مفاهیم و اشکالی که ما اکنون بکلمات مربوط میسازیم بکلی چیز دیگری است: طی ۲۵ قرن تازگیهای فراوانی از اتم دانسته شده است.

اتم تقسیم‌ناپذیر

در برابر پیروزی های تازه‌ترین دانش‌ها دیگر براهین کهنه دال بر موجودیت ثابت اتم فراموش شده و اکنون فقط از لحاظ تاریخی دارای اهمیت است. ولی یاد آوری برخی از آنها بیفایده نخواهد بود.

معتقدین به اتم قبل از هر چیز به مخالفین خود چنین سؤال ساده‌ای میدادند: یک مقدار معین از ماده اگر از اتم تشکیل نشده باشد، پس چگونه میتواند حجم‌های مختلفی را اشغال نماید همچنانکه در تراکم و انبساط گازها مشاهده میکنیم؟ سپس کوچکی اتم‌ها و کثرت تعداد شان را دلیل می‌آوردند، مثلاً یک سر سوزن نیل میتواند تن‌ها آب را رنگین کند و یا این حادثه را خاطرنشان میساختند که بوی یک گران (واحد وزنی معادل ۰٫۰۶۲ گرم) مشک اطاق بزرگی را طی ۲۰ سال معطر ساخته بود و خود بدون هیچ تغییر قابل ملاحظه‌ای بجای مانده بود.

Richard Feynman *

پیشرفت علوم دقیق اعتماد نسبت بقضاوت‌ها را و حتی بحقیقت نزدیکترین آنها را در هم فرو ریخت و ارزیابی‌های کمی را جایگزین آنها کرد.

نیوتن قطر حباب کف صابون را محاسبه کرد و نشان داد که آن ۵۰ مر تبه کمتر از طول موج نور بود و معادل ۱۰۰ Å = $۱۰^{-۶}$ سانتیمتر میباشد، بدنبال او بسیاری (از جمله لرد کلوین) مکرر در مکرر به بررسی حباب کف صابون پرداختند.

از آن زمان که بنجامین فرانکلین قاشقی روغن بر سطح آبگیری در کلافام کمون * در نزدیکی لندن ریخت، کار بدست آوردن قطر هر چه کوچکتری از ماده ادامه یافت و تجربه او را به اشکال گوناگون تکرار کرده‌اند. رلی توانست غشایی از روغن بقطر ۱۶ Å تهیه کند، سپس رنتگن در سال ۱۸۹۰ قطر آنرا تا ۵ Å تقلیل داد که فقط ۵ مرتبه از قطر اتم هیدرژن بزرگتر بود.

فارادی از طلا ورقه‌ای ساخت که ضخامت آن تا $۱۰^{-۶}$ سانتیمتر رسید و از رسوب طلا بر شیشه ضخامت غشاء طلا را به $۱۰^{-۷}$ سانتیمتر رساند که فقط ۱۰ مرتبه از غشاء حباب کف صابون ضخیمتر بود. چنین غشاءهای طلائی شفاف بوده و ضخامت آنها فقط ۱۰ مرتبه از قطر اتم بیشتر است.

در میان دیگر کوششها برای تعیین ابعاد اتم باید خدمات توماس یونگ (۱۷۷۳ — ۱۸۲۹) را که به ناحق بدست فراموشی سپرده شده خاطر نشان ساخت: او در سال ۱۸۰۵ هنگام مطالعه شعریت و کشش سطحی مایعات به این نتیجه رسید که ابعاد اتم از $۱۰^{-۸}$ سانتیمتر زیادتر نیست.

اتم‌ها و خلاء

حتی کسانی که قادرند نعل اسب را خم کنند، معترفند که اتم محکم است زیرا لابد در دوران کودکی پایشان برسنگ آمده است. بنابراین بسیار مشکل است اتم را خلائی تصور کرد نظیر فاصله بین زمین تا خورشید که در عین حال دارای چنان استحکامی غیر عادی باشد.

Clapham Common *

میدانیم که آب حتی تحت فشاری معادل ۱۰ هزار آتمسفر باز هم مایع باقی می‌ماند. این فشار بسیار زیادی است تقریباً نظیر فشاری است که اگر فیل را بر سطحی معادل یک سانتیمتر مربع قرار دهیم. بسهولت میتوان محاسبه کرد که در اثر چنین فشاری، هر اتمی تحت تاثیر نیروئی تقریباً معادل $۱۰^{-۹}$ گرم یعنی ۱۰۰ ملیون ملیون ($۱۰^{۱۴}$) مرتبه بیش از وزن خودش ($۱۰^{-۲۳}$ گرم) قرار گرفته است. این بمانند آنست که بر همان فیل صد جوسولونگما (قله اورست) را بار کرده باشیم.

اینها همه شگفت انگیز است اما مانع از آن نیست که در اتم خلاء وجود داشته باشد، آنهم خلائی حیرت آور زیرا میتوان هسته های تمام اتمهائی که جوسولونگما را ساخته‌اند در کیسه‌ای جای داد.

شبکه پراش

معلوم نیست اگر فیزیک‌دانان شبکه پراش را اختراع نمیکردند تاریخچه اتم بچه صورتی در میامد.

برای نخستین بار در سال ۱۸۱۹ فراونهوفر از آن استفاده کرد، آنگسترم آنرا بصورت ابزار اصلی تحقیقات خود در آورد و سر انجام روئولند تقریباً آنرا بشکل امروزی در آورد.

اساس عمل شبکه پراش مبتنی بر پدیده پراش یعنی قابلیت انحراف امواج در برابر مانع است بشرط آنکه مانع با طول آنها قابل قیاس باشد. امواج بر حسب طولشان در برابر مانع باشکال گوناگون منحرف میشوند که از روی آنها میتوان امواج را تقسیمبندی و دقیقاً اندازه‌گیری کرد.

بکمک این دستگاه بود که دقت اندازه‌گیری طیف‌نماها به آن حد رسید که حتی برای فیزیک‌دانان هم تعجب‌آور است. در اوایل قرن حاضر توانستند دو خط در طیف مرئی امواجی را که حتی اگر اختلاف طولشان $۱۰^{-۳}$ Å باشد از هم مشخص سازند (امروزه این دقت به $۱۰^{-٤}$ Å رسیده است).

برای آنکه بتوان آشکارا دقت چنین اندازه‌گیری‌هائی را پیش خود مجسم کرد، فرض کنید شما بخواهید طول خط استوا را با دقت تا یک متر اندازه بگیرید. واضح است که به چنین تلاشی نه احتیاجی

است و نه فکر خاصی در آن وجود دارد، زیرا به آسانی معلوم است که نتیجه این اندازه‌گیری وابسته بهر یک از لانه مورچه‌هائی است که بر سر راه شما قرار دارد. اما در طیف‌نمائی نظایر چنین صرف نیروئی نه تنها معرف تمایل به تمرین است بلکه همانطوریکه تاریخچه بعدی اتم گواهی میدهد، نمودار آنستکه چنین نیروئی علیرغم عدم اعتمادها و تمسخرها و استهزاها صرف گردیده است. مؤید آنهم سرنوشت متر معیار است.

میله مشهوری که از پلاتین و ایریدیوم با دو علامت مشخصه طبق تصمیم کنوانسیون * ساخته شده بود و در دفتر بین‌المللی اوزان و مقادیر واقع در سور نزدیک پاریس در جعبه شیشه‌ای حفظ میگردید، معلوم شد بر خلاف آنچه قبلاً تصور میشد دقیقاً معادل یک‌چهل ملیونیم نصف‌النهار زمین نیست.

ژاک بابینه** (۱۷۹٤ — ۱۸۷۲) عضو اکادمی فرانسه یکی از نخستین کسانی بود که نسبت به صلاح بودن انتخاب چنین معیار طول اظهار شک و تردید کرد و پیشنهاد نمود طول موج یکی از خطوط طیف نمارا بعنوان معیار انتخاب کنند، «... چنین اندازه‌ای مطلقا لایتغیر بوده و حتی به تحولات فضائی هم بستگی ندارد». فکر اورا نخستین بار مایکلسن در سال ۱۸۹۲ بموقع اجرا گذاشت. فقط در سال ۱۹۵۸ بود که معیار جدید متر اعلام گشت که معادل است با طولی که در آن تعداد ۱٦۵۰۷٦۳,۷۳ طول موج خط طیفی قرمز پرتقالی کریپتون Kr — ۷٦ در خلاء جای گیرد.

رزرفورد چه کرد؟

در اوایل قرن حاضر فکر سیاره‌ای بودن ساختمان اتم آنقدرها هم چیز نادری نبود برخلاف آنچه امروزه معمولاً تصور میکنند. حتی این فکر آشکارا در کتب درسی نوشته میشد.

---

* Convention National مجلس انقلابی فرانسه در سال های ۱۷۹۲ — ۱۷۹۵.

* Jacques Babinet

برای نمونه قطعاتی از جلد سوم کتاب درسی الکتریسیته تالیف پرفسور دانشگاه پاریس ه. پل منتشره در سال ۱۹۰۷ را یاد آور میشویم.

«... اتم جزء تقسیم‌ناپذیر ساده نیست. خطوط طیفی حاصله از تابش نور خصوصیات هر اتمی بوده و نشانه‌ای از گوناگونی اتمها میباشد. میتوان چنین پنداشت که اتم از تعداد بسیار زیادی کورپوسکول (ذره) تشکیل شده که مجذوب یک نوع مرکزی میباشند، همچنانکه کره ارض مجذوب خورشید است.

برای آنکه اتم در حالت خنثی قرار گیرد، باید بار الکتریکی مثبت، همانطوریکه ما فرض کرده‌ایم در مرکز واقع باشد و مطلقاً معادل مقدار کل بار منفی کورپوسکول‌ها باشد که در اطرافش در حال گردش‌اند.

خلاصه، کلیه پدیده‌های نوری، الکتریکی، دمائی و مکانیکی را میتوان با قبول موجودیت دو ماده مختلف توضیح داد یکی کورپوسکول یا الکترون منفی و دیگری الکترون مثبت که درباره آن ما تقریباً هیچ چیز نمیدانیم. بار مثبت مرکزی اتم تشکیل شده است از مجموع الکترونهای مثبت که تعداد آنها برحسب نوع اتم تغییر میکند، اما تعداد آن‌ها برای هریک از انواع اتم کاملاً معین است...

این تئوری که توضیح پدیده‌هائی را که تا بحال بر همه معلوم است ممکن میسازد و به وسیله آن میتوان پدیده‌ها و قوانین زیادی‌را که هیچ وجه مشترکی ندارند بهم مربوط ساخت زیبائی چنین تئوری احتیاجی به اثبات و استدلال ندارد».

یکسال بعد، دانشمند فیزیک و ریاضیات مشهور فرانسه هانری پوانکاره (۱۸۵۴ — ۱۹۱۲) بطور مشخص نوشت: «کلیه تجربیات روی رسانائی گازها... این اساس را بدست میدهد که اتم‌را متشکل از مرکزی با بار مثبت در نظر بگیریم که جرمش بطور تقریبی معادل خود اتم بوده و الکترونهائی مجذوب بدان در دورادورش میچرخند».

خیلی ها پس از این نقل قول‌ها مأیوس گردیدند که پس رزرفورد فکر تازه‌ای بمیان نگذاشته است. این یک اشتباه عادی و مکرری است که ناشی از عدم تفاهم درک بین علم و فلسفه طبیعی میباشد. در علم یک قاعده جدی و قطعی وجود دارد بدین مضمون که:

کاشف کسی است که ثابت کند، و اما در علم، اثبات هر چه میخواهد باشد، فقط و فقط با تجربه و اعداد امکان‌پذیر است.

تمام آنچه در گذشته گفته میشد بسادگی مبتنی بر تفکرات بود و از اینرو نیز چنین انعکاس میافت، اتم، شاید هم بتواند چنین ساختمانی داشته باشد. تنها رزرفورد بود که آن قدرت معنوی را داشت که بگوید: «این طور باید باشد و من این را با اعدادی که در دست دارم میتوانم ثابت کنم و هرکس که بخواهد میتواند آنها‌را با تکرار تجربیات من بازرسی و تفتیش کند».

مندلیف دوست داشت همواره این جمله را تکرار کند که «گفتن آنرا البته همه میتوانند، اما بیا و نشان بده». در مباحثات مکرر در اطراف اولویت که گاه بگاه در تاریخ علم شعله‌ور میگردد، همیشه باید این تفاوت بین نظریات مبهم و استدلالات علمی را بیاد داشت. در چنین مواردی عاقلانه آنست که موجد تئوری را کسی دانست که کار و خدماتش در پیشرفت آتی علم اثر قاطع و حلاله داشته، نه آنکسی که اول مرتبه آنرا بمیان گذارده است. البته در این عنصری از بیعدالتی صرفاً بشری وجود دارد. اما تاریخ مقولات اخلاقی را بحساب نمی‌آورد، وظیفه آن آرامش بخشیدن به آزرده خاطران نیست، بلکه تشخیص ماهیت و اصل تسلسل علت و معلول هاست.

فشار نوری

کپلر در سال ۱۶۱۹ از فرضیه فشار نوری که دیگر در زمان او وجود داشت برای توضیح منشاء و شکل دنباله ستاره دنباله‌دار استفاده کرد. درباره مقدار و اندازه فشار نوری چیزی معلوم نبود و فقط مثل همیشه، در چنین مواردی تاریخچه های افسانوی گفته میشد. مثلاً شخصی بنام گارتزوکر (یک موقعی او معلم پطر اول بوده است) در سال ۱۶۹۶ از قول جهانگردان نقل می‌کرد که به گفته آنها «جریان آب رودخانه دانوب صبحگاهان بطور قابل ملاحظه ای آهسته‌تر میشود چون در این مدت اشعه آفتاب روی حرکت آن تاثیر متقابل میکند و بر عکس بعد از ظهرها سریعتر میشود چون اشعه آفتاب بجریان آن کمک میکند».

تا پایان قرن گذشته کلیه تلاشها برای آنکه از راه تجربی و آزمایشی فشار نوری بدست آید بکلی با عدم موفقیت رو برو شد. علت این ناکامی‌ها فقط پس از کارهای نظری ماکسول و تجربیات موفقیت‌آمیز لبدیف کاملاً آشکار گردید. معلوم شد که مقدار فشار نوری فوق‌العاده کم است، مثلاً در روز آفتابی و آسمانی بی‌ابر مقدار فشار نور آفتاب بر سطحی معادل یک سانتیمتر مربع عبارتست از $۰,۸۲ \times ۱۰^{-۱۰}$ گرم. برای مقایسه یاد آور میشویم که وزن دانه خشخاش یک ملیون دفعه از این مقدار زیاد تر است.

فصل چهارم

تاقبل از بوهر ◇ اتم بوهر ◇ بعد از بوهر ◇ مدل صوری اتم

شاید موقعی هر یک از ماها خواب دزدان دریائی و کشتیهای جنگی ۳ دگله بادی آنهارا دیده‌ایم و تخیلاتی محو و مبهم از جنگ و تعقیب‌ها داشتیم و از دیدن گنجینه‌های جزایر اسرارآمیز و قهرمانی‌ها و جوانمردی‌ها اضطراب و تشویش‌ها کشیده‌ایم. ما مثل آنکه در بیداری باشیم، دیده‌ایم که آن کشتی‌های بادی در حالیکه کمی به پهلو خم گشته‌اند، بی‌سروصدا بر سطح نیلگون دریا پیش رفته و در افق ناپدید میشوند و از پی آنان اثری کف آلود برجای می‌ماند. گاهی دزدان دریائی برای آنکه بر سرعت کشتی بادی خود بیافزایند، دست به اقدام خطرناکی میزدند و سنگ میزان کشتی‌را بخارج می‌انداختند و تنها بدین وسیله بود که میتوانستند از چنگ تعقیب‌کنندگانشان بگریزند و نجات یابند. البته بدین وسیله گاهی از دستگیر شدن میرهیدند و اما گاهی هم بسختی مجازات میشدند. زیرا کشتی بادی فاقد سنگ میزان، نامتعادل میگشت و بصورت پوست گردوئی با بادبان در میامد و اولین تندباد وارونه‌اش میکرد.

این فصل از کتاب شاید مشکلترین فصلها باشد. در وحله اول ممکن است بقدری خشک و مشکل و بیهوده بنظر آید که برخی از خوانندگان آنرا سنگ میزان غیر لازمی بشمرند. اما این سنگ میزان که در کف کشتی قرارش میدهند، همان سنگ میزانی است که بدون آن کشتی‌بادبانی خیالی ما نه تنها بی‌ثمر بلکه خطرناک هم خواهد شد. ما اغلب بخاطر سرعت و سهولت، توجه به اساسیت و ژرفا را از نظر دور میداریم. لکن چنین لاقیدی بدون کیفر نخواهد ماند، لحظه‌ای پیش خواهد آمد که پیمانه لبریز گشته معلومات،

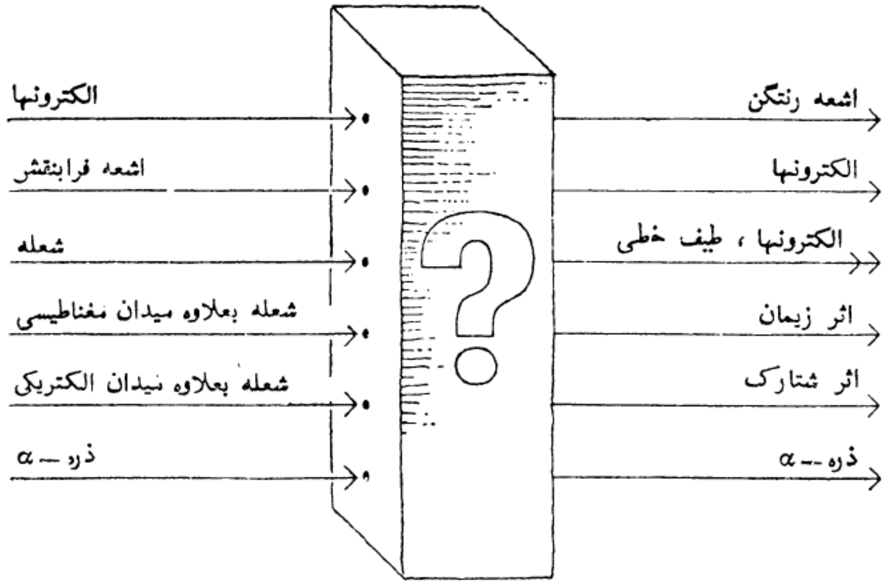
از نقطه اتکاءاش یعنی واقعیات (فاکتها) محروم و جدا میگردد و در نتیجه واژگون میشود و آنگاه لازم میاید همه را از اول شروع کرد.

در این بخش هیچ چیزی که خواننده متفکر و نا عجول نتواند بفهمد وجود ندارد. واضح است که کمی هم پشتکار و تفکر منطقی پیگیر لازم دارد. معمولاً پاداش این حداقل کوشش افزایش و اعتلای آتی «ظرفیت» دانش‌های فرا گرفته شده خواهد بود.

کاملاً احتمال دارد که دفعه اول که این بخش خوانده میشود مسائلی بمراتب بیش از حل آنها پیش آید. البته این مهم نیست. زیرا در عوض لااقل کمی هم که باشد امکان یافته‌ایم به درون این «آشپزخانه فیزیک» که معمولاً در وراء نهارهای رسمی و بسلامتی گفتن‌ها به افتخار مکانیک کوانتائی مخفی است نظری بیاندازیم. اما مهمتر از همه آنست که تنها پس از چنین سیروسیاحتهائی در ژرفای دانشهای نوین، در اثر هماهنگی و استواری آنها احساسات روانی برانگیخته میشود.

تا قبل از بوهر

در آن زمان که نیلس بوهر به آزمایشگاه رزرفورد در منچستر آمد، اطلاعات زیادی از اتم در دست بود. اینگونه فزونی‌ها اغلب مانع از آن میشوند که از بین انبوه فاکتها، مهم و اساسی آنرا بیرون بکشند. طرح صفحه ۹۷ نموداری است فقط از آن پدیده‌ها که بعدها معلوم شد برای درک ساختمان اتم واقعاً اساسی میباشد. براساس این فاکتها (که مشاهده آنها خیلی آسان است) نظم و ترتیب درونی اتم که کسی آنرا ندیده و نخواهد دید، باید حدس زده میشد. قضیه «جعبه سیاه» نامی است که بمسایل نظیر اطلاق میشود. ما مشخصات تاثیرات روی این «جعبه سیاه» یا اتم و نتایج آنرا میدانیم، یعنی میدانیم که چه روی میدهد و از چه. اما ما میخواهیم بیشتر بدانیم، میخواهیم بدانیم همه چیزها چگونه رخ میدهد، یعنی مکانیسم پدیده‌هائی که در جعبه سیاه جریان دارند چیست. دست رسی بدان، بمراتب مشکل‌تر از بازسازی نمایشی در سالن نمایشخانه از روی قطعات موسیقی و نطق است.



حتی اگر تمام مظاهر خارجی خواص درونی اتم‌را هم بدانیم، تعمیم آنها لازمست، و بالاخره فراستی لازم است که از میان انبوه موانع ساختمانهای منطقی بدون اشتباه، به یگانه منظره صحیح پدیده‌ها دست بیابیم.

از روی طرح فوق که آنقدرها هم کامل نیست اشکال مسئله مشهود است که باید از نقطه نظر واحدی (نه متضاد) همه این تجربیات بسیار مختلف را تشریح کرد. نیلس بوهر این تشریح و توضیح را یافت که در عین حال از نظر سادگی شگفت‌انگیز و از لحاظ فرم کامل بود.

این وقتی روی داد که بوهر بناگاه برایش روشن گردید که سه نظریه فیزیکی یعنی اتمها، اشعه و الکترونها بین خود با مفهوم کوانت مربوط میگردند. تا آنموقع این نظریه‌ها بطور جدا از هم پیشرفت میکردند. موجودیت اتم را شیمی و تئوری سینتیک ماده ثابت میداشتند. تئوری الکترومغناطیسی نور ماکسول خواص اشعه را می‌آموخت. الکترودینامیک ماکسول — لرنتس میکوشید مفهوم «الکترون» را درک کند.

در اروپا کوانتای عمل h را حتی پس از انتشار آثار اینشتین و ماکسول هم کسی جدی نمیگرفت، اگرچه تلاشهای جداگانه‌ای برای استفاده از آن بعمل می‌آمد. در سال ۱۹۱۰ آرتور دوگاز کوشید تا تناسب پلانک $E = h\nu$ را برای تعیین حدوحدود و زمان حرکت

الکترونها در اتم تمسون بکار برد، جون نیکلسن سعی کرد در سال ۱۹۱۲ از نظریه کوانت برای تجزیه طیف‌های آفتاب و ستارگان ابری استفاده نماید، و والتر نرنست فرضیه کوانتا کردن چرخش را پیش کشید.

برخورد شکاکیون را نسبت به نظریه کوانت‌ها، خود پلانک از همه بهتر طی سخنرانی خود در جلسه ۱۶ دسامبر سال ۱۹۱۱ جمعیت شیمی دانان آلمانی بیان داشت. این سخنرانی تقریباً درست ۱۱ سال بعد از اطلاعیه معروفش که گفته بود:

«نوشتن ساختمان اتم وار خود انرژی این ساده‌ترین و باصطلاح دیگر ساده‌لوحانه‌ترین توضیح میباشد. این آخرین پیش‌بینی را من خودم کرده‌ام، اما حالا خودم آنرا رد میکنم چون آنرا خیلی قطعی میبینم». در کتابی که یکسال بعد او نوشت، بار دیگر همان فکررا چنین تکرار کرد:

«وقتی در باره تائیدهای کاملاً تجربی که الکترودینامیک ماکسول طی ظریفترین پدیده‌های انترفرانس بدست آورده فکر میکنیم، وقتی به این میاندیشیم که چه اشکالات باور نکردنی در اثر رد الکترودینامیک برای تمام تئوری پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی پیش می‌آمد، یک نوع تنفر و انزجاری در هنگام نقض این اساس و پایه‌ها در خود احساس میکنیم، از اینرو ما در کلیه مطالعات آتی، فرضیه کوانتائی نور را کنار میگذاریم بخصوص که پیشرفت آتی آن هنوز در حال جنینی است. حتی در سال ۱۹۱۳ آرتور شوستر تائید کرد که «من مطمئن هستم که این دانش برای رشد سالم علم تقدیری است».

اتم بوهر

در سال ۱۹۱۲ نیلس بوهر دیگر در منچستر پیش رزرفورد کار میکرد. منچستر را لامانش از اروپا جدا میسازد و شاید هم بهمین علت بود که در آزمایشگاه رزرفورد مناسبات با فرضیه کوانت لااقل احتیاط آمیز بود ولی نه مثل عدم اعتماد در قاره. نیلس بوهر دیگر کاملاً مطمئن بود که «...ترکیب الکترونی اتم رزرفورد بوسیله کوانتای

عمل اداره میشود». او بدنبال یکسال تفکرات پیگیر توانست خواستهای خود را بصورت «اصول مسلم بوهر» در آورد که شهرت دارد.

ببینیم با چنین فکری آن چگونه میبایست می بود؟

هنگامیکه اسکندر مقدونی گره کوری را در برابر خود دید، کاری جز این نکرد که شجاعانه آنرا با شمشیر از هم درید، چون سردار پیروزمندی بود. اما در برابر بوهر مشکلات بیشتری قرار داشت، با همه این وی نیز تصمیم گرفت همینگونه عمل کند. او موضوع را تقریباً چنین مورد قضاوت قرار داد:

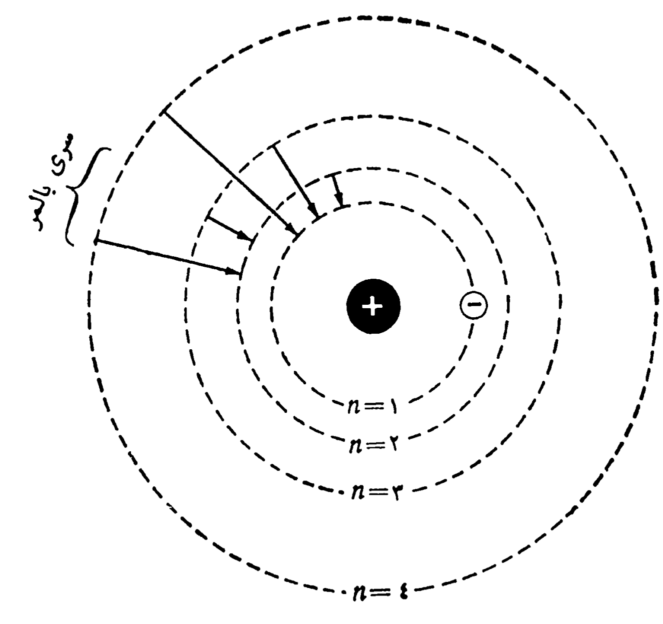
بر حسب قوانین مکانیک، برای آنکه الکترون واقع در اتم سیاره‌ای رزرفورد بر روی هسته سقوط نکند، پس باید بدور آن بچرخد. اما از طرف دیگر طبق همان قوانین الکترودینامیک، آن الکترون باید در این حال انرژی متشعشع سازد و سرانجام در هر صورت بر هسته سقوط خواهد کرد. باید سقوط بر هسته را به او قدغن کرد.

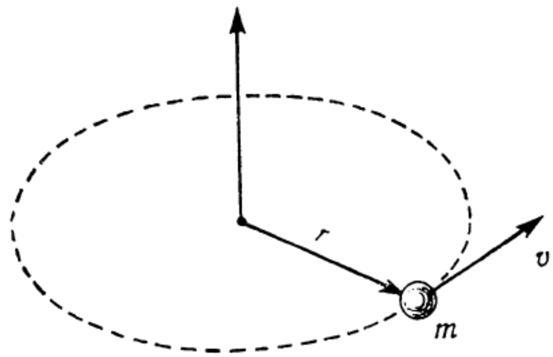
معترضانه گفته میشد:

— اجازه بدهید، یعنی چه — باید قدغن کرد؟ آیا بین الکترون و هسته نیروی الکتریکی عمل میکند؟

— بله، بوهر پاسخ میداد.

— آنها با معادله ماکسول بیان میشوند؟





— بله.

— حتی میخواهید بگوئید که جرم m و بار e الکترون از روی اندازه گیری‌های الکتریکی معین میشوند؟

— بله.

— بنابراین، حرکت الکترون در اتم هم باید از الکترودینامیک ماکسول تبعیت کند؟

— نه!

تصدیق کنید که این طرز مباحثه حتی آرامترین اشخاص را میتواند عصبانی کند. «اما آخر اتم با همه اینها سخت و استوار است! بوهر پشت سر هم در جواب معترضین تکرار میکرد. و اضافه مینمود که ما علت ساده‌تری بر این استواری نمیدانیم مگر همان موجودیت آن».

بوهر در جستجوی یک اساس و پایه معقولی برای این فاکت مسلم بود که به کتاب یوهان اشتارک بنام «اصول دینامیک اتمی» بر خورد و در آن برای نخستین‌بار با فرمول‌های بالمر و ریدبرگ آشنا شد.

بوهر در خاطراتش مینویسد: «همه چیز بیکباره برای من روشن شد. بعد از تلاشهای فراوان برای استفاده از نظریه کوانت در اشکال جدی‌تر از سابق، سر انجام در بهار سال ۱۹۱۳ بفکر افتادم که کلید حل مسئله استواری اتم — همانا قوانین ساده و شگفت‌آور تعیین کننده طیف بصری عناصر میباشند».

اکنون او میتوانست اصول مسلم خود را فرمولبندی کند:

اصل مسلم اول — حالت ثابت. مدارهائی در اتم وجود دارد که الکترون بر آن‌ها میچرخد بدون آنکه تشعشع کند.

اصل مسلم دوم — جهش‌های کوانتائی. تشعشع فقط زمانی رخ میدهد که الکترون از یک مدار ثابت بمدار دیگری بجهد. در این حال بسامد ν تشعشعات بوسیله فرضیه اینشتین درباره کوانت نور $\Delta E = h\nu$ تعیین میگردد که در آن ΔE عبارتست از اختلاف سطح انرژی که بین آن‌ها گذر رخ داده است.

برای آنکه این اصول مسلم را عمیق‌تر بفهمیم به مقایسه معمولی بین چرخش فرضی الکترون در اطراف هسته و چرخش ماه در اطراف زمین میپردازیم. در موقع خود نیوتن هنگامیکه فکر میکرد «ماه چرا بر روی زمین سقوط نمیکند؟»، قانون همگانی جاذبه را کشف کرد. اکنون این سؤال‌را فقط در افسانه‌های کهنه میدهند، زیرا که همه جواب آنرا میدانند «زیرا ماه حرکت میکند و بویژه با سرعتی کاملاً معین که بستگی دارد بفاصله آن تا زمین». بدین ترتیب برای آنکه ماه بر روی زمین سقوط نکند و در عین حال به فضا (جو لایتناهی) هم پرواز نکند، باید بین شعاع r مدار آن و سرعت v حرکت بر آن رابطه معینی وجود داشته باشد.

در اتم هیدرژن که الکترون با جرم m و بار e در اطراف هسته حرکت میکند نیز بین سرعت v الکترون در مدار و شعاع r مدار رابطه مشابهی وجود دارد که میتوان آنرا بصورت چنین معادله‌ای نوشت:

$$\frac{mv^{2}}{r} = \frac{e^{2}}{r^{2}}$$

این معادله همیشه صادق است، بدون وابستگی به اینکه الکترون تشعشع بکند یا نه. این معادله فقط تساوی نیروهای گریز از مرکز و جاذبه را منعکس میسازد.

اگر الکترون برای تشعشع کردن نیرو صرف کند (طبق قوانین الکترودینامیک) آنگاه باید بر هسته سقوط کند، مثل قمر مصنوعی که در جو ترمز شده باشد. اما اگر مدارهای ثابت خاصی وجود داشته باشد که وقتی بر آنها قرار گرفت دیگر از قانون الکترودینامیک تبعیت ننموده و بهمین جهت هم تشعشع نمیکند، پس در اینصورت باید

شرایط تکمیلی هم وجود داشته باشد که این مدار را از کلیه مدارهای ممکنه متمایز سازد.

قیاس با قمر مصنوعی که مطرح کردیم از همه بهتر این شرایط را نمایان میسازد.

در حرکت دورانی علاوه بر شعاع r مدار و سرعت v گردش بر آن یک خصوصیت دیگری هم وجود دارد که گشتاور l مقدار حرکت یا خلاصه گشتاور مداری l میباشد که معادل با حاصلضرب جرم m در سرعت v و در شعاع r یعنی $l = mvr$ میباشد و برای قمر مصنوعی مقدار آنرا بطور دلخواه میتوان انتخاب کرد بشرط تناسب با r و v.

بوهر ثابت کرد که فرق الکترون در اتم با قمر مصنوعی در آنست که گشتاور مداری l آن نمیتواند انتخابی و دلخواه باشد، بلکه معادل عدد صحیح مضرب مقدار $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ است. (علامت $\hbar$ را پول دیراک* یکی از موسسین مکانیک کوانتائی پیشنهاد کرد) و از اینجا:

$$mvr = n\hbar$$

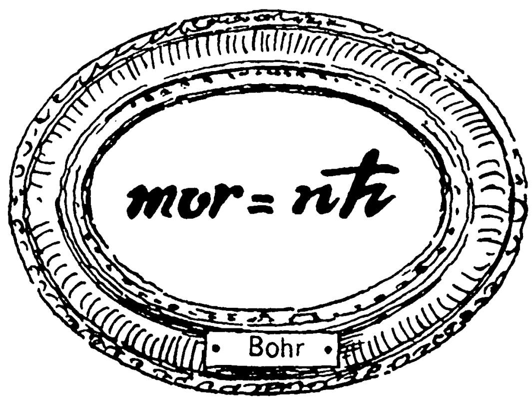
شرط تکمیلی بوهر همین بود که مدار ثابت را (یگانه مدار ممکن در اتم) از میان انبوه مدارهای متصوره متمایز میسازد. از آنجا که در چنین متمایز ساختنی نقش اساسی‌را کوانتای عمل h بازی میکند، کلیه جریان را کوانتائی نامیدند.

از دو شرط قبلی بوهر بسهولت مقادیر انرژی E_n و شعاع r_n مدار ثابت بدست می‌آید:

$$E_n = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \times \frac{1}{n^2}$$

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2} \times n^2 ;$$

Paul Dirac *



مدار ثابت (پس سطح انرژی) با اعداد صحیح n و k شماره گذاری میشوند و تا بینهایت ادامه دارد مثل ۱، ۲، ۳، .... الکترونها هنگام عبور از سطح n به سطح k مقداری انرژی تشعشع میکنند معادل $\Delta E = E_k - E_n$ و بسامد تشعشعی که در این حال پدید می‌آید طبق فرمول اینشتین تعیین میشود:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_k - E_n}{2\pi\hbar}$$

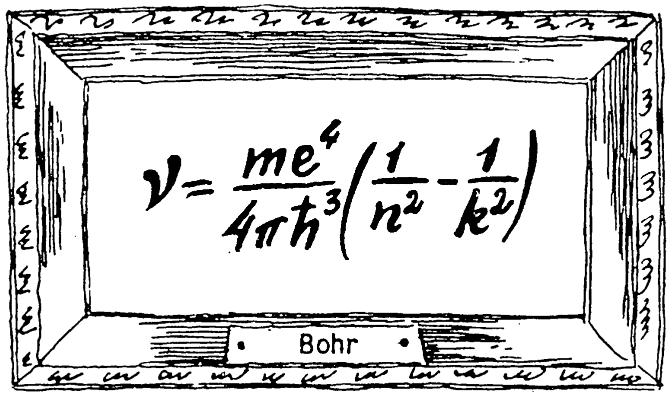
اگر ما ناظر تشعشعاتی باشیم که هنگام عبور الکترون از سطح k ممکنه به یک سطح معین n پدیدار میگردد، آنگاه بجای یک دسته خطوط طیفی ساده یک سلسله از آنها را مشاهده خواهیم کرد. مثلاً اگر $n = 2$ و $k = 3$ یا ٤ یا ٥ یا ٦ و الی‌آخر باشد، ما مشاهده یک سلسله بالمر خواهیم بود. بلافاصله از اینجا فرمول معروف بوهر برای بسامد تشعشعات اتم هیدرژن بدست می‌آید:

$$\nu = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right)$$

از این چه نتیجه میشود؟

قبل از هر چیز فرمول ریدبرگ برای اتم هیدرژن را بیاد می‌اندازد که او بطور تجربی مدتها قبل از بوهر بدست آورده بود، و ما هم در بخش قبلی مشروحاً از آن سخن گفتیم. اگر فرمول بوهر صحیح است پس از روی آن میشود ثابت ریدبرگ R را محاسبه کرد:

$$R = \frac{me^4}{4\pi c\hbar^3}$$



و حقیقتاً هم مقدار آن با آن مقداری که از مدتها قبل از روی اندازه‌گیری‌های طیف نمائی معلوم بود تطبیق میکند.

این نخستین موفقیت تئوری بوهر بود و چون معجزه‌ای اثر کرد.

اما کار بهمین جا پایان نمی یافت. از نظریه بوهر چنین نتیجه شد که شعاع اتم هیدرژن در حالت ($n = ۱$) اصلی (تحریک نشده) معادل است با:

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0{,}53 \times 10^{-8}\text{cm} = 0{,}53\ \text{Å}$$

این بدان معناست که ابعاد اتم ($\approx 10^{-8}\text{cm}$) محاسبه شده از روی فرمول او با آنچه نظریه سینتیک ماده پیش‌بینی کرده بود تطبیق میکند.

بالاخره نظریه بوهر تشریح میکند که: چگونه خواص طیف خطی با ساختمان درونی اتم مربوط است. این ارتباط را همیشه با یک حس درونی احساس میکردند. ولی این بوهر بود که توانست برای نخستین بار آنرا بطور ریاضی بیان دارد. معلوم شد که ارتباط مطلوب بوسیله همان ثابت پلانک h جامه عمل میپوشد.

این دیگر غیر منتظره بود. کوانتای عمل h در نظریه تشعشعات دمائی ظهور کرد و واقعاً بهیچ صورتی احتمال نمیرفت با اتمها و اشعه پخش شده از اتمها رابطه‌ای داشته باشد. با وجود این درست همان بود که محاسبه ابعاد مطلق اتم را ممکن ساخت و بساند نور متشعشعه را پیشگوئی نمود. این اعتماد و ایمان ژرف به یگانگی طبیعت بود که به بوهر همانند بسیاری دیگران قبل از او کمک کرد تا این رابطه را حدس بزند.

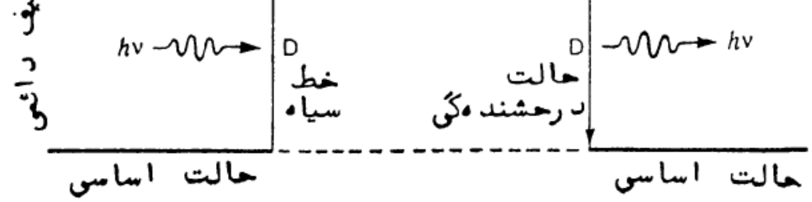
اصول مسلم بوهررا (مثل همه اصول مسلم) نمیتوان با منطق استدلال کرد و یا از چیزهای ساده‌تری نتیجه گرفت. تا زمانیکه هنوز تجربه نتایج حاصله از آنهارا تائید نکند، آنها همچنان بصورت خلاقیت آزادانه بشری بجای خواهند ماند. فقط پس از آنست که بر اساس آنها نظریه‌ها پیشرفت میکند و آنکه از همه موفقیت آمیزتر باشد، قانون طبیعت خوانده خواهد شد.

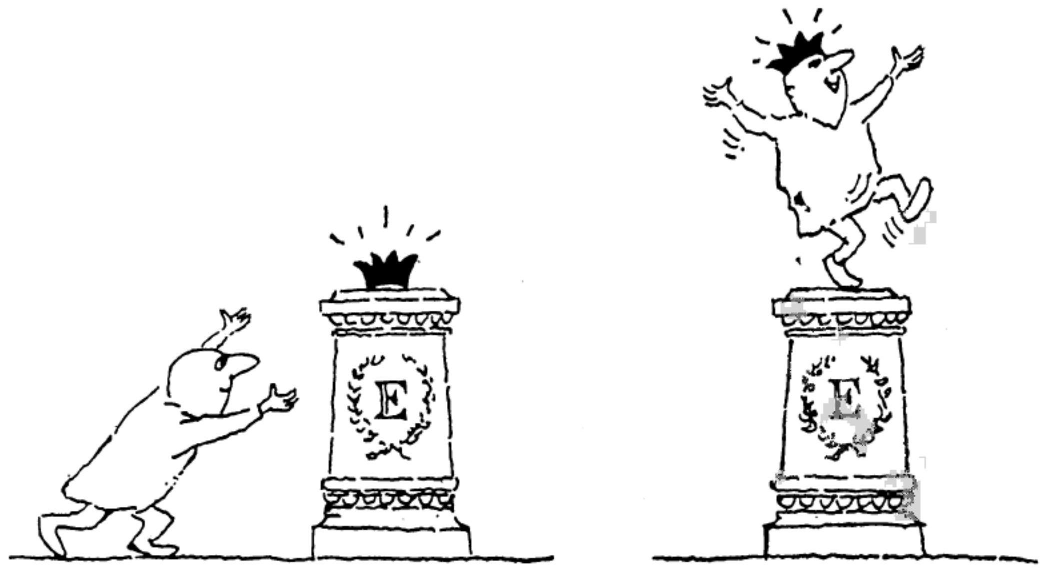
ما به این سه نتیجه تئوری بوهر اکتفا میکنیم اگر چه تعداد آنها بسیار زیاد است و همه آنها نشاندهنده نیروی غیر قابل فهم اصول مسلم نامفهوم میباشند.

البته راه‌هائی که بوهر طی کرد و به‌آنها رسید، تا اندازه‌ای غیر از آن بود که اکنون ما باهم طی کردیم: وقتی انسان از ارتفاعات ناشناسی برای اولین بار بالا میرود، نباید انتظار داشته باشد که حتماً کوتاهترین راه را پیموده است، تنها وقتی به قله رسید خواهد دید، صعود میتوانست ساده‌تر هم انجام گیرد.

پس از بوهر

اصول مسلم بوهر با آنکه غیر عادی بودند معذلک تقریباً بسرعت مورد شناسائی و قبول واقع شد و پیروان با ذوق و نیرومند بسیاری یافت. اگر بخواهیم مناسبات فیزیک‌دانان آن سالها را نسبت به این اصول مسلم بیان داریم شاید بهتر باشد از احساس سبکباری و احساس رهائیشان از آن فشار دائمی که از تلاش برای بخاطر سپردن فاکتهای گوناگون و کوشش برای آنکه به نحوی سروته آنهارا بهم آورند سخن بگوئیم. اکنون دیگر کلیه پدیده‌های اتمی بطور طبیعی در دورادور مدلی نامفهوم ولی ساده‌ای گروهبندی شده و قسمتی از آنها





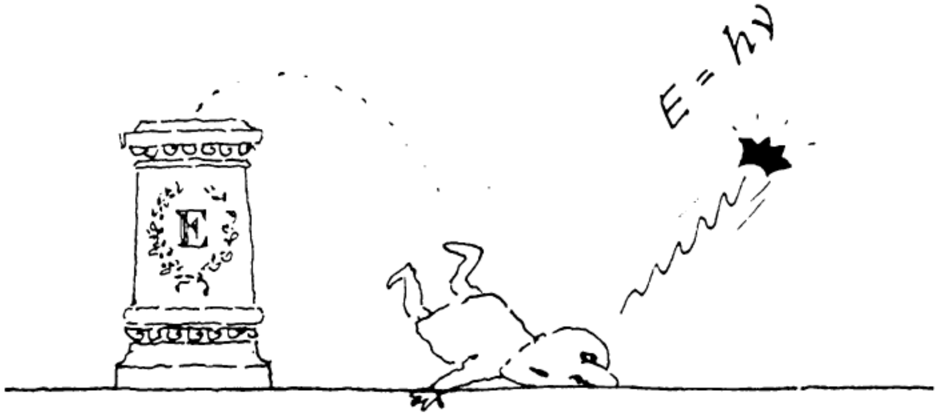
بعالیترین وجهی تشریح میگردید و بقیه‌اش احتیاج به پیشرفت آتی مدل داشت.

از جمله اکنون خیلی آسان میتوان تجربه کرشهف و بونزن را روی بخار سدیم توضیح داد.

واقعاً هم تا وقتیکه اشعه حاصله از جسم داغ از بخار سدیم که اتمهایش در حالت اصلی قرار دارند نگذشته است، شامل کلیه طول موجها میباشد. وقتی از بخار عبور کردند، آنگاه اشعه، اتم سدیم را از حالت اصلی خارج و به نخستین تهیج میرسانند. برای اینکار مقداری انرژی کوانتائی $E = h\nu$ مصرف میشود که دارای بسامد ν است که درست با بسامد خط D سدیم تطبیق میکند. بهمین جهت نوری که عبور کرده، دیگر فاقد اشعه‌ای با این بسامد خواهد بود و در نتیجه روی صفحه مدرج طیف نما، ما طیف بهمپیوسته‌ای میبینیم که در قسمت زرد با خط تیره D قطع شده است.

در جریان عکس، یعنی وقتی اتمهای سدیم از تهیج به حالت اصلی باز میگردند، نوری تشعشع میکند که دارای همان بسامد ν یعنی همان خط D است که قبلاً جذب میکردند، پس حالا ما زرد درخشان مشاهده خواهیم کرد.

تئوری بوهر را صرف نظر از تمام موفقیت‌هایش، فیزیک‌دانان ابتدا



بمثابه مدل راحت خوبی سیپذیرفتند، اما به واقعی بودن چنین نردبان انرژتیک در اتم اعتماد چندانی نداشتند. این شک و تردید را جیمس فرانک* (۱۸۸۲ — ۱۹۶٤) و گوستاو هرتس** (متولد ۱۸۸۷) (برادر زاده هنریخ هرتس مشهور) در همان سال ۱۹۱۳ حل و فصل کردند. تئوری بوهر نظیر هر نظریه روشن دیگری نه‌تنها فاکتهای قدیمی را توضیح داد بلکه همچنین راه برای آزمون آتی از خودرا پیش‌بینی کرد.

آرنولد یوهان ویلهلم زمرفلد*** (۱۸٦۸ — ۱۹۵۱) فیزیک‌دان عالی و استاد برجسته یکی از نخستین کسانی در اروپا بود که نه تنها بلادرنگ به اصول‌مسلم بوهر اعتماد کرد بلکه آنها را بازهم پیشرفت داد، «با یک احساس هم آهنگی درونی آنهارا دنبال میکردم، همچنانکه روزگارانی کپلر سیستم سیارات را مطالعه میکرد». او چنین استدلال میکرد: اگر اتم شبیه منظومه شمسی است، پس الکترون در چنین سیستمی نه تنها باید بتواند دایروی بچرخد نظیر مدل بوهر بلکه همچنین باید بتواند بیضوی هم بچرخد و ضمناً هسته باید در یکی از کانون‌های این بیضی‌ها قرار داشته باشد.

بیضی‌هائی با نیمه محورهای بزرگ مساوی، دارای همان ارزش عدد اصلی کوانتائی n می‌باشند، بطور یکه انرژی الکترونهای چنین

James Franck *

Gustav Hertz **

Arnold Sommerfeld ***

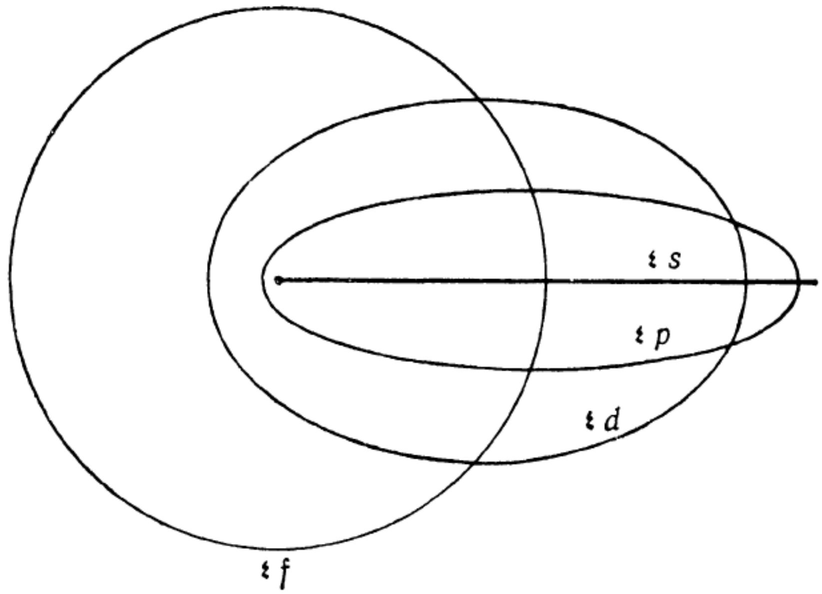
مدارهائی نیز مساوی خواهد بود. (دلیل آنرا زمرفلد میدانست، ولی ما ناچار آنرا همینطور قبول میکنیم). اما بیضی‌ها بر حسب میزان پهنایشان که بستگی به گشتاور مداری دارد از یکدیگر متفاوت میشوند. زمرفلد کاملاً موافق روح تئوری بوهر فرض کرد که: با مفروض بودن n پهنای بیضی‌ها نمیتواند آزادانه باشد، بلکه فقط آنچنان خواهد بود که عدد مداری کوانتائی l (که آنها را متمایز میسازد) بتواند اعداد صحیح $l = ۰, ۱, ۲, ..., n - ۱$ را بپذیرد، یعنی تعداد بیضی‌های ممکنه از عدد اصلی کوانتائی n که حالات ثابت‌را شماره گذاری میکند، تجاوز ننماید.

بوهر و زمرفلد حتی یک چیزی هم زیادتر ثابت کردند: با درنظر داشتن نظریه نسبیت اینشتین چنین بنظر میرسد که انرژی الکترونها در بیضی‌های مختلف کمی با هم تفاوت دارند، بهمین جهت هم باید سطح انرژی در اتم را با دو عدد کوانتائی n و l شماره بندی کرد. بهمان علت هم خطوط طیفی حاصله از گذار الکترونها از سطوحی با n های گوناگون باید دارای ساختمان ظریفی باشد، یعنی به چند جزء مرکبه تجزیه شده باشد. فردریک پاشن بنابر خواهش زمرفلد این نتیجه تئوری را آزمود و تایید کرد که مثلاً خط هلیوم $\lambda = ۴۶۸۶ Å$ مطابقت دارد با گذار از سطح $n = ۴$ به سطح $n = ۳$ (از چهارمین سطح به سومین سطح). او طیف عکس برداری شده هلیوم را بادقت مورد توجه قرار داد و مشاهده نمود که این خط در حقیقت از ۱۳ خط بسیار بهم نزدیک تشکیل شده است.

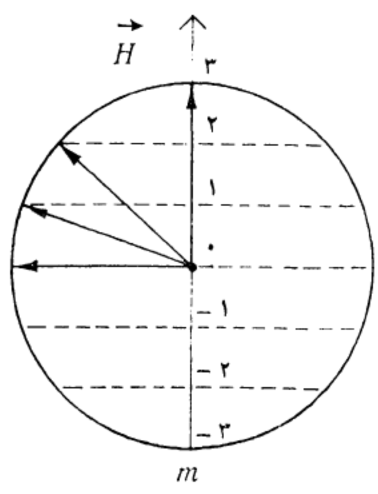
این تطابق شگفت انگیزی بود که در آن زمان (سال ۱۹۱۶) آنرا با محاسبات له‌ور و آدامس، پیشگویان سیاره نپتون مقایسه میکردند.

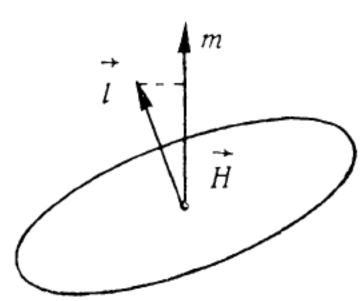
ولی حتی دو عدد کوانتائی n و l هم نتوانستند کلیه خود ویژگی‌های طیف‌را توضیح دهند. مثلاً اگر اتم تشعشع کننده‌ای را در میدان مغناطیسی قرار دهیم، آنوقت طیف بکلی طور دیگری تقسیم میشود.

فارادی حتی در سال ۱۸۶۲ کوشید تجزیه خطوط طیفی را در میدان مغناطیسی طی آخرین اثر خود (دیگر منتشر نشد) پیدا کند، اما مغناطیسی که او بدینمنظور بکار میبرد زیاده از حد ضعیف بود، فقط در سال ۱۸۹۶ بود که پیطر زیمان همان پدیده‌ای را مشاهده کرد که فارادی در موقع خود با آن دقت در جستجویش بود.



پس از آثار بوهر و زمرفلد، پدیده تجزیه خطوط طیفی را در میدان مغناطیسی چنین تعبیر میکردند: فرض کنید موتور الکتریکی در برابر شما قرار دارد. مسلم است که بدون باز کردن اجزاء آن، شما از دوران دبیرستان بخاطر دارید که روتور آن وقتی خواهد چرخید که از داخل سیم پیچهای آن جریان برق بگذرد. الکترون هم در درون اتم روی مدار مسدودی میچرخد، نظیر حلقه‌های سیم‌پیچ موتور الکتریکی. مدار الکترون نیز درست مثل این حلقه‌ها در میدان مغناطیسی شروع بگردیدن میکند. اما با این فرق که آن نمیتواند حالت دلخواهی داشته باشد، چونکه تحت تاثیر قوانین کوانتائی قرار دارد. با توجه به شکل بسادگی میتوان به حقیقت این قوانین کوانتائی





پی‌برد. در این شکل میدان مغناطیسی از پائین متوجه بالاست ومدار الکترون در حالیکه دارای خطوط افقی چون «دنده» است، نشان داده شده، بعلاوه شعاع مدار معادل مقدار گشتاور مداری l حساب شده (در شکل ۳ $= l$). معلوم میگردد که طبق قوانین کوانتائی فقط چنان وضعی از سطح مدار نسبت بمیدان مغناطیسی H را مجاز میدارد که در آنصورت تصویر قطر مدار بر جهت میدان H معادل عدد صحیح باشد. این سومین — عدد مغناطیسی کوانتائی m همچنانکه بسادگی مشاهده میکنید مقادیری را میپذیرد نظیر $m = l,\ l - ۱, \dots, ۱, ۰, -۱, \dots, -(l - ۱), -l$ یعنی روی همرفته $(۲l + ۱)$.

بدین ترتیب در میدان مغناطیسی هر سطح E_{nl} طبق مقدار مشخص اعداد کوانتائی n و l باز هم به $(۲l + ۱)$ سطح مادون E_{nlm} تجزیه میشود که هر یک از آنها بر حسب سه عدد صحیح اعداد کوانتائی m,l,n تعیین میگردد. و این به تجزیه تکمیلی خطوط طیف منجر میشود.

مشکل میگشت، زیرا نظریه بوهر متدرجاً ظرافت و آشکارائی اولیه خود را از دست میداد و جای آنرا مدل صوری اتم میگرفت که از آن فقط یک چیز طلب میشد: سیستم بندی صحیح ترم‌هارا بدست دهد.

اصطلاح «کوانتا کردن» بتدریج مفهوم اولیه خود را از دست داد، اکنون آن را برای تعیین جریان صوری تطبیق اعداد صحیح (کوانتائی) m, l, n با هر یک از سطوح انرژی اتم بکار میبرند و یا دقیقتر، انواع حرکاتی که الکترونها دارا میباشند. اعداد کوانتائی m, l, n معین کننده مدارهای ثابت در اتمی است که بطور مجزا برداشته شده باشد. میدانهای خارجی (الکتریکی، مغناطیسی) روی حرکت الکترونهای اتم تاثیر میگذارند (تجزیه سطوح انرژی) و این بلا فاصله روی ساختمان علامت نوری که اتم پخش میکند تاثیر می‌نماید (تجزیه خطوط طیفی).

مدل صوری اتم

عامه فهم کردن (همانند هر علمی) حد و مرزی دارد. معمولاً این مرز در آن لحظه مشخص میگردد که دیگر استفاده از مفاهیم و

اشکال زندگی روزمره ممکن نیست. برای از میان برداشتن این مرز باید بزبان مفاهیم صوری علمی متوسل شد (در شروع لااقل مفاهیم اولیه). با همه تلاشها برای اجتناب از چنین گامی خواه ناخواه عدم رضایت نا مفهوم مبهمی بوجود می‌آید و خود اصل علم در پرده باقی می‌ماند. و برعکس اگر موفق به بر طرف کردن حد اقل مشکلات گردیم، آنوقت میتوانیم نیروی ساختمان منطقی علم را احساس کرده و بزیبائی نتایج آن ارزش دهیم. مشکلات فنی که معمولاً پیش میاید، بهیچوجه بیشتر از آن نیست که هرشاگرد مدرسه‌ای هنگام فرا گرفتن شیمی با آنها مواجه میشود، ولی او خیلی زود یقین حاصل میکند که نوشتن فرمول H_2O ساده‌تر از آنست که (در مفهوم اصلی) هر بار تکرار کند که «ملکول آب مرکب از دو اتم هیدرژن و یک اتم اکسیژن است».

در تئوری طیف نیز چیزی شبیه بفرمول‌های شیمیائی پذیرفته شده است که در آن عدد اصلی کوانتی n با شماره‌های ۱، ۲, ۳, ... نشان داده میشود ، و گشتاور مداری l با حروف ضمناً ردیف شماره‌های ۰, ۱، ۲, ۳, ... مطابق s, p, d, f, ... میباشد. مثلاً علامت ۳s مطابق سطح انرژی با اعداد کوانتائی $n=۳$ و $l=۰$ است و یا علامت ۳p معرف سطح $n=۳$ و $l=۱$ میباشد.

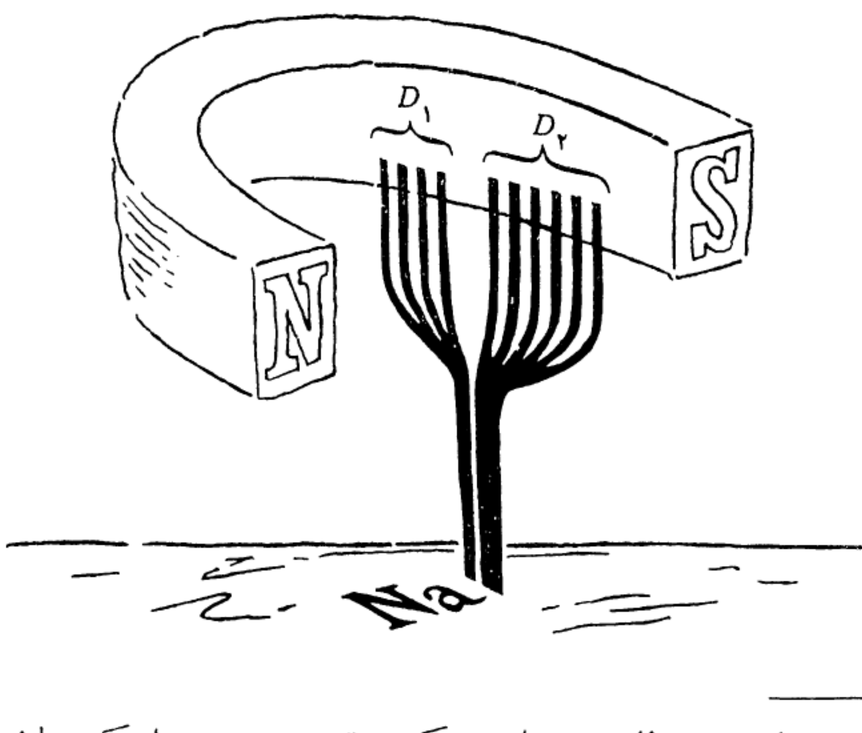
در اتم تحریک نشده سدیم، الکترون متشعشع در حالت ۳s قرار دارد. اما خط تیره D هنگامی پدیدار میگردد که الکترون در اتم تحریک شده به حالت ۳p بگذرد. در گذار معکوس یعنی ۳s ⟵ ۳p این الکترون شروع به تشعشع انرژی میکند که خط D زرد درخشان ظاهر میگردد.

اما اگر سدیم در حال تشعشع را در میدان مغناطیسی قرار دهیم چه خواهد شد؟ اوایل با پیروی از زمرفلد حدس میزدند که در این صورت سطح فوقانی ۳p به سه جزء: $۲l+۱=۲\times۱+۱=۳$ تجزیه شود و سطح پائینی بدون تغییر بماند. در مجموع، هریک از خطوط $D_۱$ و $D_۲$ باید به سه جزء تجزیه شوند.

تجربه با چنین نتیجه‌گیری تناقض دارد. از روی شکل دیده میشود که خط $D_۱$ به ٤ جزء و خط $D_۲$ به ٦ جزء تجزیه میشود. این پدیده

استثنائی است که پدیده غیرعادی زیمن* نامیده شده است. برای آنکه علت آنرا بفهمیم، باید کمی بعقب باز گردیم و مسئله‌ای را که سابقاً دانسته از آن چشم پوشیدیم حالا برای خود روشن سازیم و بفهمیم که چرا خط D سدیم حتی در صورت عدم وجود میدان مغناطیسی باز هم از دو خط بسیار به هم نزدیک $D_۱$ و $D_۲$ مرکب میباشد؟

تفکرات خسته کننده ولفگانگ پائولی** (۱۹۰۰ — ۱۹۵۸) شاگرد زمرفلد روی این مسئله، سر انجام در سال ۱۹۲٤ به کشف اسپین الکترون (ماخوذ از کلمه انگلیسی spin یعنی دوک) منجر شد. او تقریباً چنین توضیح میداد: هر دو خط $D_۱$ و $D_۲$ با گذار همانندی از سطح $n = ۳$, $l = ۱$ به سطح $n = ۳$ و $l = ۰$ مطابقت دارند. اما با همه این، آنها دوگانه هستند! پس باید نه یک بلکه دو سطح فوقانی ۳p وجود داشته باشد و بعلاوه نوعی عدد تکمیلی کوانتائی که آنهارا از بقیه متمایز گرداند. او خواصی را که با این چهارمین عدد کوانتائی S مطابقت دارد، «الکترون دو رقمی غیر کلاسیک» نامید،

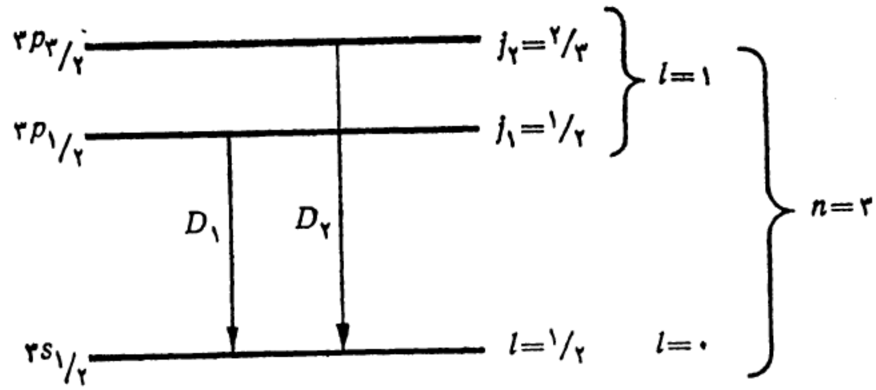


---

*پدیده زیمن — خاصیتی است که وقتی جسمی را که طیف خطی منتشر میکند در یک میدان مغناطیسی قوی قرار دهیم، هریک از خطوط به چند خط نزدیک به هم تجزیه میشود. م.

Wolfgang Pauli **

7—1500



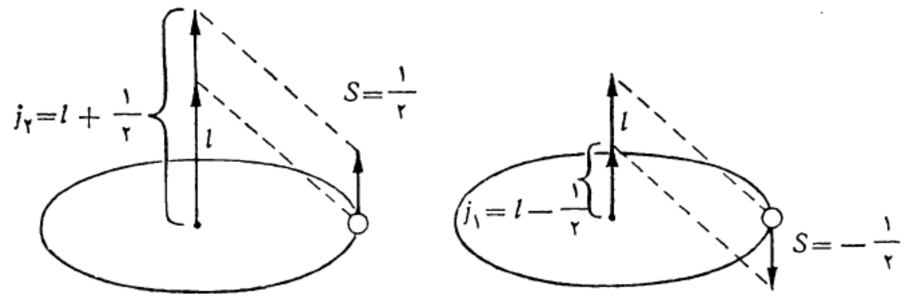
و فرض کرد که میتواند فقط دو مقدار ۱/۲+ و ۱/۲ — را قبول کند. پائولی تصور عینی این خواص را ناممکن میشمرد.

اما سال بعد جورج اولنبک (متولد ۱۹۰۰) و سموئل گائودسمیت (متولد ۱۹۰۲) مدل عینی برای توضیح این خاصیت الکترون‌را پیدا کردند و فرض آن بود که الکترون در حول محور خود میچرخد. چنین مدلی نتیجه مستقیم تشابه موجود بین اتم و منظومه شمسی بود زیرا زمین نه فقط بر روی مدار بیضوی بدور خورشید میچرخد بلکه بعلاوه در حول محور خویش هم میگردد (این تشابه را کمپتون هم در سال ۱۹۲۱ و کرونیگ در سال ۱۹۲۳ یاد آور شده بودند ولی پائولی با آن مخالفت ورزید).

اولنبک و گائودسمیت این فرض‌را پیش کشیدند که الکترون علاوه بر گشتاور مداری l که مقدارش عدد صحیح بوده و ناشی از حرکت بیضوی است ذاتاً دارای گشتاور دورانی درونی یا اسپین S میباشد که‌معادل است با $S=\frac{1}{2}$. این گشتاور درونی S با جمع یا تفریق گشتاور مداری l میتواند l را زیاد یا کم کند. از اینجا گشتاور نتیجه j بدست می‌آید که مقدارش یا معادل $j_1=l-\frac{1}{2}$ و یا $j_2=l+\frac{1}{2}$ خواهد بود برحسب سمتی که بردارهای* S و l دارا

---

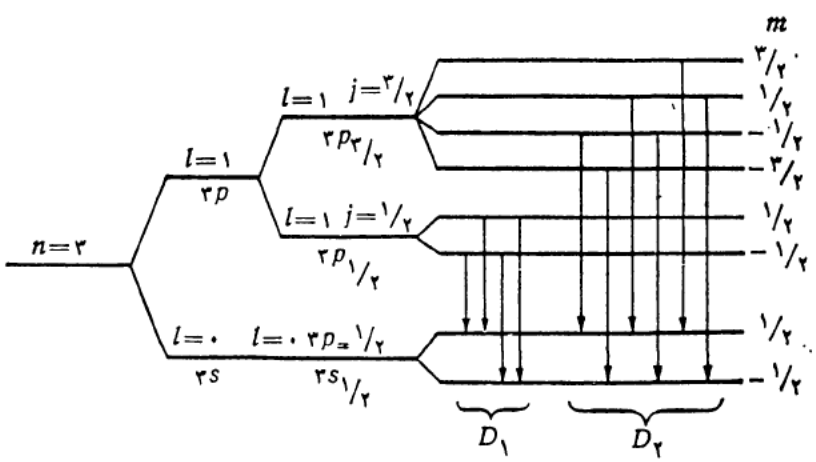
*بردار یا وکتور — قطعه خطی جهت‌دار است که با مبدأ و انتها یا با مبدأ و طول، امتداد و جهت معین میشود. م.



میباشند. اگر هم $l = 0$ باشد آنوقت گشتاور منتجه بر اسپین منطبق خواهد شد $\left(j = S = \frac{1}{2}\right)$.

حالا دیگر همه چیز در سر جای خود قرار گرفته است: سطح $3s$ در اتم سدیم تغییر نمیکند چون با گشتاور $l = 0$ تطبیق میکند، اما سطح $3p$ تجزیه میشود به دو: $3p_{\frac{1}{2}}$ و $3p_{\frac{3}{2}}$ که انرژی آنها کمی متفاوت است. بهمین علت هم ما بجای یک خط، دو خط بهم نزدیک مشاهده میکنیم که خط D_1 با گذار الکترون در سطوح $3p_{\frac{1}{2}} \rightarrow 3s_{\frac{1}{2}}$ و خط D_2 با گذار $3p_{\frac{3}{2}} \rightarrow 3s_{\frac{1}{2}}$ مطابقت دارد.

در میدان مغناطیسی هر یک از سطوح با گشتاور منتجه j (نظیر حالت گشتاور l) باز هم به اجزاء $(2j + 1)$ تجزیه میشود که با مقدار عدد کوانتائی مغناطیسی m تمیز داده میشود. بدین



ترتیب هریک از سطوح $۳s_{\frac{۱}{۲}}$ $۳p_{\frac{۱}{۲}}$ بازهم به دو سطح سادون تجزیه میشود، اما سطح $۳p_{\frac{۳}{۲}}$ به چهار سطح سادون تجزیه میگردد.
در نتیجه طرحی که در شکل (صفحه ۱۱٤) از سطوح و معبربین آنها رسم شده ظاهر میشود و ساختمان خطوط $D_۱$ و $D_۲$ را بخوبی روشن میسازد.

از روی شکل دیده میشود که چگونه مدل اولیه بوهر که در آن فقط یک سطح با $n = ۳$ وجود داشت غامض و پیچیده شد و وقتیکه تئوری نسبیت را در نظر گرفتند این یک سطح بدو سطح $۳s(n = ۳ \text{ و } l = ۰)$ و $۳p(n = ۳ \text{ و } l = ۱)$ تجزیه شد و با به حساب آوردن سپین الکترونی، آنوقت سطح $۳p$ باز هم تجزیه شد به دو سطح سادونی یکی $۳p_{\frac{۱}{۲}}\left(n = ۳, l = ۱, j = \frac{۱}{۲}\right)$ ودیگری $۳p_{\frac{۳}{۲}}\left(n = ۳, l = ۱, j = \frac{۳}{۲}\right)$ و سرانجام در میدان مغناطیسی ما یک سلسله سطوح بدست می آوریم که در شکل قبلی رسم شده بود و نمایشگر همان منظره خطوط طیفی است که در عمل مشاهده میگردد.

فرضیه اسپین الکترون یکی از ژرف‌ترین فرضیه‌های فیزیکی است که تا کنون هم درک کامل معنی آن مقدور نگردیده است. پائولی البته حق داشت که از تلاش مستقیم برای به تصور آوردن الکترون بمثابه فرفره‌ای چرخنده بر حذر میداشت.

تاثیر اسپین در جریان فیزیکی اتم و در ساختمانش اغلب بصورت فوق‌العاده غیر منتظره‌ای پدیدار میگردد. مضمون اصل مشهور ممانعت پائولی را یکی از چنین خود ویژگیهای اسپین تشکیل میدهد که عبارتست از: در اتم دو الکترون نمیتواند وجود داشته باشد که اعداد کوانتائی آنها یعنی S, m, l, n یکی باشند. در آتیه ما خواهیم دید که تنها با اتکاء به چنین تئوری بود که پیدایش جدول تناوبی عناصر شیمیائی دیمیتری ایوانویچ مندلیف* ممکن گشت.

---

* Dimitri Ivanovitch Mendeleyev

حتی اکنون شما از روی طرز بیان میتوانید متوجه شوید که مدل صوری اتم نسبت به مدل بوهر چقدر فقیرتر بود و چقدر مشکل است راجع به آن با کلمات معمولی سخن گفت و بطور آشکارا ارائه اش داد. با وجود این احتمالاً نیروی آنرا حس کرده‌ئید که بر اساس آن میتوان ظریفترین ویژگیهای طیف‌را توضیح داد و پیشگوئی کرد. تعداد سرسام آور خطوط طیفی را توانستند تحت نظم و ترتیب در آورند. اکنون برای تعیین یک رقمی هر یک از خطوط طیف اتم، کافی است ۸ عدد کوانتائی بدهیم: چهار تا برای سطح مبداء الکترون متشعشع (n_k, l_k, m_k, S_k) و چهار تا برای سطح پایانی (n_i, l_i, m_i, S_i)

این کار حماسه‌ای در حدود سال ۱۹۲۵ پایان یافت. حالا دیگر رمز هیروگلیف‌ها باز شده و ترسیم نخستین و عجالتاً تخمینی منظره درونی ساختمان اتم ممکن می‌باشد.

البته باز کردن رمز طیف هر عنصری از عناصر، مسئله ایست که امروزه هم چندان ساده نیست و فقط کارشناسان میتوانند از عهده انجام ماهرانه آن بر آیند، بالاخره یادگرفتن طرز خواندن هیروگلیف‌های باز شده کار چندان ساده ای نیست و لازم هم نیست هر کس بتواند این کار را انجام دهد. لاکن مادام که کلید رمز معلوم است، هرکس میتواند بیاموزد که چگونه اینکار را باید کرد. و اکنون دیگر هیچکس از جدول بالا بلند خطوط طیفی وحشت نمی‌کند، همانطور که ملیونها نوع رستنی و جانور گیاه شناسان و جانور-شناسان را بهراس نمی‌اندازد. پس از آثار لینه، لامارک و داروین کلیه آنها از یک سیستم مشخص تبعیت میکنند.

بر خطوط طیفی نیز همان گذشت که بر هیروگلیف‌های حقیقی مصری گذشت، بدین معنی که تازمانیکه آنها را بخوانند، آنها فقط برای مصرشناسان جالب بود و دیگران فقط بطور مجرد و انتزاعی به آنها توجه میکردند. ولی وقتی رمز هیروگلیف‌ها و طیف‌ها باز شد با خواندن یکی خواندن تاریخ کامل خلقی ممکن گشت و با دیگری شناسائی ساختمان اتم. و این اکنون برای همگان جالب است.

مدل صوری اتم صرف نظر از موفقیت‌هایش دیگر قادر به تامین خواسته های آن معیارهای ساده منطقی که شبیه به واضحات آشکار است نبود

(این سادگی از مزایای مدل بوهر بود). آن متدرجاً بقدری مشکل و بغرنج گردید که کم کم مورد عدم اعتماد قرار گرفت و یک نوع احساس خستگی شبیه آنچه که برخی از فیزیک‌دانان تا قبل از طرح بوهر دارا بودند، نسبت بدان ابراز میشد. علاوه بر آن کلیه تلاشها برای بسط و توسعه مدل بوهر بر اتم‌های بغرنج‌تری با ناکامی روبرو شد. کار بجائی کشید که برخی از فیزیک‌دانان با یک حالت سراسیمگی شروع کردند همه چیز را تحت شک و تردید قرار دهند: قانون بحق کولن، الکترودینامیک و مکانیکی که در سیستم‌های اتمی بکار میرفت، و حتی قانون بقاء انرژی. همگان تقریباً فهمیده بودند که این بحران ناشی از برخورد مفروضات آزمایشی و اصول تئوریک کوانت‌ها با بقایای تصورات کلاسیکی است که دست کشیدن از آنها عجالتاً مقدور نیست زیرا چیز معینی که بتوان جایگزین آنها کرد پیشنهاد نمیشد.

پژوهشگران در مطالعه پدیده‌های کوانتائی، کماکان از مفاهیم کلاسیک استفاده میکردند. اما در مبحث اتمها آنچنان خواصی وجود نداشت که با این مفاهیم تطبیق کند و در اثر همین بود که سؤالاتی که به طبیعت داده میشد در حقیقت سؤالاتی غیر قانونی بودند. و یا دقیقتر بگوئیم سؤالاتی بودند که بزبان قابل فهم برای طبیعت داده نمیشد. آنوقت بود که شروع کردند یک اصل همگانی بیابند که بوسیله آن بتوان هم مدل صوری اتم و هم ویژه‌گیهای مباحث اتمی‌را بطور منطقی دنبال کرد. «بگذار این اصل واحد در آغاز نامفهوم باشد، ولی بگذار همان یگانه بماند» چنین بود تمایل همگان.

در پاسخ این اشتیاق، در همان سال ۱۹۲۵ مکانیک کوانتائی پدیدار گشت، یعنی علم حرکات الکترونها در اتم. بنیان‌گذاران آن نسل نوین فیزیک‌دانان بودند. از تصادفات روزگار، تمام آنها تقریباً در یک زمان چشم بدنیا گشوده اند. ورنر هیزنبرگ در ۱۹۰۱، پل آدرن موریس دیراک در ۱۹۰۲، ولفگانگ پائولی در ۱۹۰۰، فقط لوئی دوبروی و اروین شردینگر کمی از آنها مسن‌تر بودند. سعادت نوشتن اشکال و مفاهیم مکانیک اتمی بزبان فرمول نصیب آنها گشت. درباره چگونگی موفقیت آنها بعداً صحبت خواهیم کرد.

نیلس هنریک دوید بوهر* (۱۸۸۵ — ۱۹۶۲)

از روی تصاویری که تا بحال داده‌ایم بخوبی میتوان تحولات مفهوم «اتم» را از دوران دمکریتوس تا بوهر مشاهده نمود. این تاریخچه ایست بس آموزنده که نه تنها همواره حس احترام عمیق مارا نسبت به علمای بنام و بی‌نام بر میانگیزد، بلکه مهمتر از همه از اینکه چنین درک و معرفتی امکان‌پذیر گشت و آنهم بدین شکل کامل و هماهنگ، مارا غرق در شگفتی میسازد.

کشف بوهر همانند هر اکتشافی حقیقتاً بزرگ، کاری بود مشکل ولی درک آن آسان. قدرت و نیروی نظریه بوهر بسادگی غیر قابل اثباتش و به قابلیت درک آنست. اصول اساسی آن برای هر شخص با سوادی قابل فهم است. تصویری که بوهر داد، توجیه مفهومی از میان مفاهیم غیرعادی‌را مثل مکانیک کوانتائی ممکن ساخت و این تصویری بود که نشانه عصر ما گردید. علاوه براین اگر در نظر بگیریم که این تصویر با تمام سادگیش خواص اساسی اتمها را بدرستی منعکس میسازد، آنگاه بلافاصله استثنائیت آن بچشم میخورد.

در سوم مارس سال ۱۹۷۲ ایستگاه کیهانی «پایونیر — ۱۰» بسوی مشتری پرواز کرد. علاوه بردستگاه‌های موجود در این ایستگاه، یک صفحه آلومینیومی قرار داشت که بر روی آن شبحی از زن و مرد، وضع منظومه شمسی و بالاخره طرحی از اتم هیدرژن یعنی مهمترین چیزی که ساکنان کره زمین تصمیم گرفتند به اطلاع تمدن های خارج از کره زمین برسانند، حکاکی شده بود.

اگر امروز صد نفر فیزیک‌دان را بطور تصادفی بر گزینیم، شاید یکی — دو نفر از میان آنان باشد که مقالات مشهور بوهر را که در سال ۱۹۱۳ منتشر شده است خوانده باشد. در صورتیکه هریک از آنها مشروحاً نظریه مطروحه در آنهارا میتوانند توضیح دهند. این بدان معناست که اکنون نظریات بوهر موضوع علمی نبوده بلکه موضوع مورد نیاز فرهنگ میباشند، همان عالیترین چیزی که هر نظریه‌ای میتواند بدان دست یابد.

Niels Bohr *

«انسانی را که دست تقدیر بر گزیده است تا نظریه سازنده کبیری تقدیم جهان سازد، نیازی به ستایش آیندگانش نیست، همان خلاقیت او نفع قابل ملاحظه‌تری به او ارزانی داشته است». این سخنان اینشتین است که بطور یکسان درباره پلانک و بوهر گفته است.

نیلس بوهر در اواخر عمر خود بکشور شوروی آمد و از گرجستان دیدن کرد. در یکی از روزهائی که او با عده‌ای از فیزیک‌دانان گرجی در دره زیبای آلازانی استراحت میکرد، در همان نزدیکی نیز جمعی از روستائیان مجلس انسی داشتند که بر حسب آداب و سنن باستانی هم‌آواز با تامادا* یکی از آهنگهای محلی را می خواندند و شراب می نوشیدند. نیلس بوهر در عین اینکه شخصیتی بزرگ بود بسیار کنجکاو هم بود، او از جای برخاست و بسوی آنان رفت و با مهمان‌نوازی سنتی گرجیان پذیرائی شد. یکی از فیزیک‌دانان همراه او وقتی بکنار روستائیان رسیدند چنین آغاز بسخن کرد: «نیلس بوهر دانشمند مشهور...» ولی تامادا با اشاره چشم او را دعوت بسکوت کرد و خود رشته سخن‌را بدست گرفت و خطاب به یاران حاضر گفت: «دوستان! یکی از بزرگترین دانشمندان، پرفسور نیلس بوهر مهمان ما هستند. او بنیان گذار فیزیک اتمی است. آثار او در مدارس کلیه کشورها تدریس میشود. او از دانمارک پیش ما آمده است، برای او و همراهانش عمر طولانی، تندرستی و کامیابی و برای کشورش صلح و رفاه آرزو داریم». سخنان تامادا آهسته برای بوهر ترجمه میشد و هنگامیکه سخنان تامادا پایان یافت، پیرمردی از جای برخاست و دست بوهر را با دو دست گرفت و با مهربانی بوسید. پس از او کوه‌نشین دیگری برخاست و در حالیکه در برابر بوهر سر فرود می آورد جام خود را که از شاخ گاو ساخته شده بود و لبریز از شراب‌بود تا آخرین قطره نوشید.

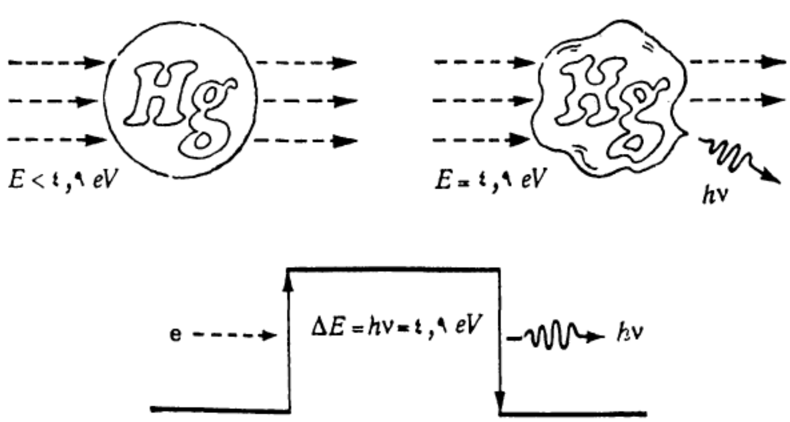
این حادثه که بنظر غیر ممکن می‌آمد، نیلس بوهر را که عمرش در بین چیزهای خارق‌العاده مکانیک کوانتائی گذشته بود چنان مبهوت کرد که گریست و با شگفتی تمام از آنان سپاسگذاری کرد.

---

*تامادا ــ شخصی است که معمولاً برای اداره مجالس ضیافت انتخاب میشود و باید ناطق خوبی باشد. م.

اثبات تجربی اصول مسلم بوهر

آزمایش فرانک و هرتس در اصل با تجربه کرشهف و بونزن بسیار شبیه بود زیرا آنها اتم سدیم را با اتم جیوه عوض کردند و بجای اشعه نور هم دسته‌ای از الکترون بر آن تابانیدند که انرژی آن را میتوانستند بمیل خود تغییر دهند. در این حال بود که فرانک و هر تس پدیده جالبی را مشاهده کردند: تا وقتیکه انرژی الکترونها آزادانه بود، تعداد الکترونهائی که از اتم جیوه میگذشت معادل با تعداد الکترونهای دسته اولیه بود. اما وقتیکه انرژی آنها به حد معینی (در آن تجربیات معادل ٤,٩ الکترون — ولت یا $۷,۸٤ \times ۱۰^{-۱۲}$erg بود) میرسید تعداد الکترونهای گذرنده از جیوه شدیداً تقلیل می‌یافت زیرا آنها را اتم جیوه جذب میکرد. (برای مقایسه یاد آور میشویم که انرژی دمائی حرکت سلکول در دمای اطاق معادل ≈ ۰,۰٤ الکترون — ولت است). همزمان با این در طیف بخار جیوه خط بنفش فروزانی بدرخشش در میاید که طول موج آن $\lambda = ۲۵۳۶\ \text{Å}$ یعنی با بسامد $\nu = ۱,۱۸ \times ۱۰^{۱۵}s^{-۱}$ میباشد.



انرژی کوانت با چنین بسامدی بسهولت محاسبه میشود و معادل خواهد بود با:

$$E = h\nu = ۶,۶۲ \times ۱۰^{-۲۷} \times ۱,۲ \times ۱۰^{۱۵} = ۷,۸۲ \times ۱۰^{-۱۲} \text{erg}$$

یعنی تقریباً دقیقاً معادل انرژی مصرف شده الکترون است ــ ظاهراً این تشعشع هنگام گذار معکوس اتم‌های جیوه از حالت تحریک به حالت اصلی پدید می‌آید.

به آسانی دیده میشود که دو منظره مشاهده شده استدلال مستقیم تجربی هر دو اصل مسلم بوهر میباشد که میگوید: در اتم حقیقتاً حالات ثابت وجود دارد و بنابراین اتم قادر نیست حصه‌های دلخواه انرژی را جذب کند. گذار الکترون بین سطوح اتم فقط بصورت جهش امکان پذیر است و بسامد کوانتهای متشعشعه را اختلاف انرژی سطوح معین میکند و برحسب فرمول اینشتین $\Delta E = h\nu$ محاسبه میشود. البته «بآسانی دیده میشود»، فقط حالا، اما در سال ۱۹۱۳ حتی خود فرانک و هرتس تجربه خود را کاملاً بطور دیگری توضیح میدادند.

«کوانتا کردن» منظومه شمسی

ما بارها اتم را با منظومه شمسی مقایسه کردیم، اگرچه معنای ژرف این تشابه را ندادیم. بویژه بسیار غیر منتظره است که منظومه شمسی نیز مثل اتم تابع «قاعده کوانتا کردن» است. این قاعده هیچ وجه مشترکی با مکانیک کوانتائی ندارد، اما معذلک عجب است که فاصله سیارات تا آفتاب (نظیر شعاع مدار در اتم) تغییراتش نا منظم نبوده بلکه از قانونی کاملاً دقیق تبعیت میکند.

یوهان کپلر حتی در دوران جوانی از این واقعیت اطلاع داشت، او پس از تفکر بسیار روی «هماهنگی افلاک» به این نتیجه رسید که در فواصل بین افلاکی که بر مدارهای سیاره بنا شده باشد میتوان پنج چند وجهی منظم رسم کرد.

پرفسور دانیل تیتسیوس در سال ۱۷۷۲ کتابی در بن منتشر کرد تحت عنوان «تماشای طبیعت» و در آن جدولی از فاصله خورشید

تا سیارات با واحدی شرطی ذکر کرد (فاصله نزدیک‌ترین سیاره یعنی عطارد تا خورشید را عدد ٤ فرض کرد).

٤ = ٤ .... عطارد (تیر) ۳ × ۱ + ٤ = ۷ ... زهره (ناهید — الاهه عشق)

۳ × ۲ + ٤ = ۱۰ ..... زمین

۳ × ٤ + ٤ = ۱٦ .... سریخ (بهرام — خدای جنگ)

۳ × ۱٦ + ٤ = ٥۲ ..... مشتری (برجیس)

۳ × ۳۲ + ٤ = ۱۰۰ ..... زحل (کیوان)

وکمی دیر تر اضافه شد

۳ × ٦٤ + ٤ = ۱۹٦ ..... اورانوس.

بعدها قانون تیتسیوس را بوده اصلاح کرد و فاصله تا عطارد را ۸ واحد شرطی انتخاب کرد و یک فرمول کلی برای سیارات نوشت بدینصورت $R = ۸ + ۳ \times ۲^n$ که در آن $n = -\infty$, ۱, ۲, ۳, ٤, ٦, ۷.

جالب آنست که در طرح مذکور سیاره شماره $n = ٤$ که قاعدتاً باید بین مریخ و مشتری جای میگرفت وجود ندارد. اما درست در همین محل کمربندی از آستروئیدها یعنی سیارات کوچک یا سیارکها وجود دارد که بعقیده ستاره شناسان، اینها پاره‌هائی از سیاره بزرگی بنام فایتون میباشند که زمانی وجود داشته است.

قانون تیتسیوس و بوده هنوز کاملاً مفهوم نیست، اگرچه دلایلی برله آن موجود است. تصور میرود توضیح کامل این قانون با حل معمای منشاء منظومه شمسی ما یکجا پیدا شود.

فصل پنجم

آموزش باستانیان ◇ نخستین تلاشها ◇ عناصر و اتمها ◇ جدول عناصر ◇ توضیح جدول

فرض کنید شما تصمیم دارید زندگی سلول‌ها را بیاسوزید. روی آنها کلیه تجربیات ممکنه را بعمل بیاورید: حرارتش میدهید، تحت اشعه‌اش قرار میدهید، میشکافیدش و با دقت زیر میکروسکپ نگاهش میکنید. اما تمام اطلاعات شما درباره آن وقتی کامل خواهد شد که بخاطر داشته باشید که سلول — قسمت زنده‌ای از ارگانیسم میباشد و کلیه خواص کاملش را فقط در آن ظاهر میسازد.

در دانش اتمی نیز چیزی شبیه به این صورت گرفت. تا بحال ما عمداً سعی میکردیم اتم مجزارا در نظر گرفته و آن تجربیات‌را هم انتخاب میکردیم که قادر بودند خواص اتم مجزارا عیان سازند. در صورتیکه مدتها قبل از این تجربیات که ساختمان مرکب اتم را نشان میدادند، دیمیتری ایوانویچ مندلیف (۱۸۳۴ — ۱۹۰۷) معین ساخته بود که اتمهای عناصر مختلف یک ارگانیسم واحد یعنی سیستم طبیعی عناصر را تشکیل میدهند.

یکسال بعد، پس از آنکه سیستم تناوبی عناصر را بوجود آورد چنین نوشت:

«پیش‌بینی‌اش آسان است، اما فعلاً هنوز امکان اثباتش نیست که: اتم‌های اجسام ساده ماهیتاً مواد مرکبند که از برخی ذرات مرکب باز هم کوچکتری تشکیل میگردند (اولتیماتها)* و آنچه که ما تقسیم ناپذیرش میخوانیم (اتم) — فقط با نیروی عادی شیمی تقسیم ناپذیر است... اما صرف نظر از ناپایداری و بیپایگی چنین پیش‌بینی

---

* ultimus

معذلک وقتی با شیمی آشنا باشیم، عقل و خرد خواه نا خواه در برابر آن سرتعظیم فرود میاورد. از آنجا که دیر زمانی است چنین آموزشی به اشکال گوناگون تکرار میشود ظاهراً وابستگی تناوبی بین خواص و وزن که من بمیان گذارده‌ام، مؤید چنین احساس قبلی است که دیگر بصورت خصوصیت شیمی‌دانان در آمده است، البته اگر بتوان چنین بیان داشت».

باید گفت که فکر عدم وابستگی مقدار کثیر تفاوتهای کیفی عناصر هرگز نمیتوانست شیمی‌دانان را متقاعد سازد. از اینرو آنها همیشه میکوشیدند کیفیت تنوع آنهارا بصورت این اندیشه ساده و روشن در آورند که: اتمهای عناصر مختلف مجسم کننده تجمع گوناگون ذراتی از یک نوع میباشند.

چنین تلاشی از ادوار باستان آغاز گشته بود و بعدها از دو طریق پیشرفت کرد.

دمکریتوس معتقد بود که تمام مواد در طبیعت از اتم درست شده‌اند و خواص مواد بسته بطرز آمیزش مختلف اتمهاست.

ارسطو تایید میکرد که تمام موجودات مرکب از عناصری است که خود حامل کیفیات معینی میباشند.

انعکاس این مباحثه قدیمی تا به زمان ما هم رسیده است: همراه با کلمه «اتم» خواه ناخواه چیزی سخت و جسیم در نظر مجسم میشود، و با کلمات «عناصر شیمیائی» ما سعی میکنیم چیزهائی با کیفیت ناب بدون وابستگی به حاملش در نظر آوریم. شاید بهمین جهت آموزش عناصر شیمیائی در آغاز کار بکلی بدون وابستگی به نظریه اتم پیشرفت کرد. بعدها این دو آموزش چنان در هم آمیختند که دیگر نمیشد آنهارا از یکدیگر فرق داد، اما همانطوریکه اکنون دیدیم، تا بحال هم ممکن نگشته است سد و مانع پسیکولوژی موجود بین آنهارا برطرف سازند.

راهی که علم در پیش دارد بی پایان و نا آموختنی است و منابع بی‌حد و حصرند. تا اینجا ما «منابع فیزیکی» دانش اتمی‌را مفصلاً دنبال کردیم و اکنون وقت آن رسیده است که «منابع شیمیائی» آنرا جستجو کنیم.

مکتب فلسفه یونان که نماینده مشهور آن طالس اهل میلتوس (۶۴۰ — ۵۴۶ ق — م) است فقط یک عنصر و آنهم آب‌را قبول داشت که «ارض بر آن آرام گرفته و سر آغاز هر آنچه هست میباشد» بعدها اسپدوکل (Empédocle ۴۹۰ — ۴۳۰ ق — م) سه عنصر دیگر یعنی زمین، آتش و هوا را بر آن افزود. بالاخره ارسطو (۳۸۴ — ۳۲۲ ق — م) بر این چهار عنصر پنجمین ماهیت quinta essentia را ملحق کرد که تا کنون بصورت کلمه «کوینت‌اسنسیا» در خاطرها بجای مانده است.

چیز مشابهی در فلسفه هندی بوجود آمده بود. با این فرق که اگر یونانیان — ماتریالست‌ها بودند و منظور شان از عنصر همان ماده بود که روی حواس ما تاثیر میگذارد، ولی هندی‌ها، عناصر را چون مظاهری از روح پرقدرت اولیه میشمردند. در فلسفه هند تعداد این تظاهر — عنصر به پنج تا میرسید طبق حواس پنجگانه که قابلیت احساس آنهارا داشتند یعنی اتر — سامعه، باد — لامسه، آتش — بینائی، آب — مزه و زمین — شامه. فیلسوف کانادا که در آغاز کتاب هم از او یاد کردیم، چهار عنصر دیگر هم به آنها اضافه کرد: زمان، مکان، روح (آتمان) و ماناس (وسیله‌ای که روح بکمک آن تصور احساس را میدهد). علاوه بر این، او معتقد بود که چهار عنصر زمین، آب، آتش و هوا از اتم‌ها تشکیل میشوند.

در قرون وسطی کیمیاگران علم عناصررا احیاء کردند که در بین آنها معمولاً ذوسیموس مصری، جابر عرب (ابوموسی جابر بن قایان الکوفی) (سده دهم) و آلبرت کبیر (سده دوازدهم) را نام میبرند.

کیمیا گران در زیر عنوان عناصر (در پی ارسطو) نه ماده بلکه کیفیت یا «اصول» را در نظر میآوردند. این اصول عبارت بودند از: جیوه معرف درخشش فلز، گوگرد — قابلیت احتراق، نمک — قابلیت انحلال. آنها معتقد بودند که با اختلاط این «اصول» به نسبت‌های مناسب، میتوان هر چیز موجود در طبیعت‌را بدست آورد.

معمولا با کلمه «کیمیا» افسانه‌های تبدیل جیوه به طلا، بدست آوردن اکسیر زندگی و دیگر معجزات مربوط میباشد. اگر بایگانی‌ها را

جستجو کنیم، در آنجاها چیزهای زیادی میتوان یافت مثلاً نوشته‌هائی از جابر که طی آنها خیلی جدی از این مسئله بحث میکند که: «چرا همانطوریکه همه میدانند وقتی زنی برهنه از خانه خارج شود و رویش بسوی ابری باشد، از آن ابر باران نخواهد بارید؟»

اما صرف نظر از بلاهت‌های آشکار، تنها اختراع الکل از طرف آنها کافی است که موجودیت آنهارا معذور دارد. خدمت اساسی آنها عبارتست از تجربیات ناخودآگاه آنها که منجر به جمع آوری فاکتها شد که بدون آنها اصولا دانش شیمی بوجود نمیامد.

نخستین تلاشها

در سده هفدهم کیمیا و فلسفه طبیعی جای خودرا به شیمی و فیزیک دادند. در سال ۱۶۴۲ یوآخم یونگیوس (۱۵۸۷ — ۱۶۵۷) اثری تحت عنوان «مباحثات در اطراف اصول ماده» منتشر ساخت که کاملاً مطابق احوال و روحیه آن قرن با این کلمات پایان مییافت: «چنان اصولی را برای اجسام یک نوع باید سر آغاز شمرد که درکشان نه ازطریق حدسیات بلکه فقط بر مشاهدات منصفانه، مفصل و جدی مبتنی باشند.»

در سال ۱۶۶۱ کتاب مشهور روبرت بویل بنام «شیمیدان شکاک» منتشر شد که در آن نویسنده عناصر شیمیائی‌را بمثابه «برخی مواد ابتدائیه، یا ساده و یا بکلی نامخلوط» معین ساخت.

در حقیقت این نخستین و تقریباً کاملترین تعریف عنصر بود که میگوید: عنصر قبل از هر چیز ماده است و بهیچوجه «اصل» سوبسترات* و یا نظریه نیست. عجالتاً این مسئله تاریک باقی ماند که چگونه میتوان عناصر را از اجسام طبیعی خارج کرد و با چه علامتی میتوان عنصر ناب‌را از مختلط و یا ترکیب تمیز داد. مثلاً خود بویل که چیزی نمانده بود آب را چون یگانه عنصر ناب بداند، طلا، مس، جیوه و گوگرد را عناصری ترکیبی و مختلط شیمیائی میشمرد.

---

*ماخوذ از کلمه لاتینی Substratum که اصل پایه ای عمومی برای کلیه پدیده‌های جوراجور بود. م.

آنتوان لران دو لاوازیه* (۱۷۴۳ — ۱۷۹۴) آموزش بویل را در مورد عناصر بتمام و کمال پذیرفت ولی از آنجا که صد سال بعد از او میزیست این دیگر برایش کافی نبود، او میخواست عناصر را از ترکیبات شیمیائی بیرون بکشد. بنظر میرسد که او نخستین کسی باشد که از ترازو نه فقط برای تهیه گرد و یا مخلوطی بلکه برای مقاصد تحقیقاتی استفاده کرده باشد. او فرضیه‌ای را اساس کار گرفت که امروزه مبتذل بنظر میآید، اما برای دوران فلوژیستن** شجاعت زیادی میخواست.

وزن هر عنصر از یک ترکیب، کمتر از وزن تمام ترکیب است.

بعدها با مبنی قرار دادن این اصل او نخستین جدول را که شامل تقریبا ۳۰ عنصر بود ترتیب داد.

نظریات لاوازیه بقدری با عقاید مورد قبول آن زمان متضاد بود که طرفداران دو آتشه تئوری فلوژیستن در آلمان در ملاء عام عکس او را آتش زدند.

لاوازیه نتوانست تحقیقات خود را به آخر برساند زیرا او را متهم به خیانت نسبت به دولت کردند و نیم روز ۸ ماه مه سال ۱۷۹۴ در پاریس در میدان انقلاب او را گردن زدند و جسدش را در گورستان همگانی دفن کردند.

لاگرانژ فردا صبح پس از اعدام با غم و اندوه گفت: «برای آنکه این سر را قطع کنند لحظه‌ای‌بیش لازم نبود، ولی برای آنکه نظیر آن بوجود آید شاید صد سال وقت لازم باشد».

صد سال بعدی مملو است از خدمات شیمی‌دانان که بتدریج جدول لاوازیه را تکمیل کردند. در بین آنان شخصیت «سلطان شیمی» نیلس یاکوب برزلیوس***(۱۷۷۹ -- ۱۸۴۸) بسیار جالب است که طی دوران

Antoine Laurent de Lavoisier *

**هواداران نظریه «شعله» که معتقد بودند از جسم در حال سوختن ماده ویژه‌ای که نه دیده میشود و نه وزن دارد و فلوژیستن نام دارد متصاعد میشود. م.

Jacob baron Berzelius ***

زندگی خود بیش از دو هزار ماده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و چند عنصر جدید کشف کرد. (ضمناً بویژه هم او بود که در سال ۱۸۱۴ علامات معاصر عناصر شیمیائی را بر حسب حروف اول اسامی لاتینی و یونانی آنها بکار برد).

در این دوران دیگر تقریباً ۶۰ عنصر شناخته شده بود که آنقدر زیاد نبود که دمکریتوس فکر میکرد و آنقدر هم کم نبود که تمام آنها را مستقل بشمرند. چنین احتمالی بروز کرد که ممکن است مجموعه عناصر سیستم یگانه‌ای تشکیل میدهد و جستجوی این سیستم آغاز شد.

در واقع چنین جستجوئی هیچگاه متوقف نگردیده بود حتی در آن دورانی که آشکارا قبل از موقع بود. مثلا مارنه در همان سال ۱۷۸۶ مطمئن بود که «کلیه موجودات در طبیعت به یک ردیف پیوسته‌ای مربوط میباشند» و که «...از کوچکترین گرد و غبار اشعه آفتاب تا فرشته مقدس را میتوان در یک سلسله مراتب کاملی جای داد». در سال ۱۸۱۵ دکتر و شیمی‌دان انگلیسی ویلیام پرائوت (۱۷۸۶ — ۱۸۵۰) نظریه مارنه در مورد خویشاوندی عناصر را توسعه داد و فرضیه ساده‌ای را پیش کشید که طبق آن کلیه عناصر در اثر تراکم هیدرژن بوجود میآیند.

اکنون نه وقت آن و نه جای آنست که کلیه این تلاشها برای جستجوی سیستم عناصر را که در ازمنه مختلف امثال دبرینر (۱۸۱۷)، پتنکوفر (۱۸۵۰)، گلادستن (۱۸۵۳)، اودلینگ (۱۸۵۷)، بگوئه دو شانکورتوا (۱۸۶۳)، نیولندس (۱۸۶۵) و بسیاری دیگران بدان سرگرم بوده‌اند مفصلاً بر شماریم. بسیار مهمتر است که نظریه و عللی را که همه آنهارا بهیجان آورده بود بررسی کنیم.

اساس هر علمی مبتنی بر قابلیت کنجکاوی انسان میباشد. و موجودیت عناصر همواره انگیزه کنجکاوی بوده و خواهد بود. در واقع شگفت - انگیز است که تمام این جهان پر از رنگها، عطرها، صداها و شور و شوق بشری تنها از چند ده عنصر ساخته شده است. بعلاوه شکل ظاهری این عناصر هم معمولاً چندان خوش آیند نیست و هیچ شباهتی به زیبائی‌های جهان که از آنها بوجود آمده ندارند.

لکن بدنبال تحیر و تعجب در فهم و ادراک علما بود که

نیاز به نظم و ترتیب دادن تاثیراتی که مورد تعجب آنها بوده است پدیدار گشت. این خصوصیت ویژه بشری است که در نهاد هر یک از ماها عمیقاً جای دارد: کودک از اینکه از انبوه در۔هم‌وبرهم مکعب‌های اسباب بازیش شکل منظمی ساخته است شاد میگردد و مجسمه ساز هم از اینکه از قطعه سرسری قواره‌ای هیکل زیبائی ساخته است مسرور میگردد.

همراه با هر گونه تلاشی برای به نظم و ترتیب در آوردن بلافاصله این سؤال پیش میاید که: «اما با چه علامت مشخصه‌ای؟». اگر مکعب های شما که در قوطی خود درهم و برهم ریخته شده‌اند دارای شماره باشند که کار آسان است، کافی است آنهارا بر حسب شماره‌شان کنار هم قرار دهیم. حالا پیش خود مجسم کنید که بجای آن مکعب‌ها لوله‌های آزمایش در دست شماست که محتوی عناصر شیمیائی است. موادی که در لوله‌های آزمایش قرار دارند با رنگها و بوهای گوناگونند، برخی مایع و بعضی جامد، یکی سنگین و دیگری سبک خلاصه بکلی متنوعند. حالا کدام یک از این کیفیات را اساس برای طبقه بندی قرار دهیم؟ مثلا ممکن بود لوله‌ها را طوری در طبقه قفسه پهلوی هم قرار دهیم که قوس قزح را بخاطر آورد. البته این زیبا خواهد بود. اما برای علم عناصر مثمر ثمری نبود: زیرا هر طبقه بندی آنوقت دارای معنی و مفهومی است که بتواند ژرف‌ترین خواص و خود ویژگیهای یک ساختمان را ظاهر ساخته و نشان دهد. (مثلاً طبقه بندی جهان حیوانات)

اصولًا به بینیم طبقه بندی بجز آنکه تمایلات غریزی ما را نسبت به سادگی تامین میسازد فایده دیگری هم دارد؟ قبل از هر چیز و از همه مهمتر اینکه بدون آن هیچ دانشی ممکن نیست. مغز یک نفر دانشمند تنها یک قسمت بسیار کوچکی از طبیعت است و تنها آنوقت میتواند امیدوار باشد که تمام طبیعت را بشناسد که بیاموزد چگونه باید خطوط اصلی و اساسی را از میان انبوه بی‌پایان اجزاء آشکار و هویدا سازد.

هدف و ماهیت طبقه بندی درست در همین است که از میان خواص فراوان اشیاء یا پدیده‌ها یک یا دو تا را انتخاب نماید، اما

آنچنان برگزینند که قادر باشد تغییرات قانونمندانه کلیه خواص دیگررا نشان دهد.

عناصر شیمیائی خواص بسیار زیادی دارند و کاملاً معلوم است که اگر چنین نبود ساختن جهان ممکن نمیگردید. یکی از مهمترین خواص آنها قابلیت شرکت آنها در فعل و انفعالات شیمیائی است. معلوم شد که درست همین خاصیت عناصر است که باید اساس وپایه طبقه بندی قرار گیرد. لکن اینطورها هم نیست، چون وسیله‌ای وجود ندارد که بتوان بکمک آن قابلیت واکنشی عناصر را اندازه گرفت (ویا بطور قطعی تعیین کرد) و بدون چنین پایه‌ای هیچ طبقه بندی نمیتواند اطمینان بخش باشد. پس برای آنکه بی اساس نباشد، باید بر اعداد متکی باشد، یعنی عناصر را باید برحسب آن خاصیتشان طبقه بندی کرد که بتواند تحت اندازه‌گیری دقیق قرار گیرد.

اما در اینجا هم کار به این سادگی‌ها نیست: اگرچه وزن مخصوص عناصر را ما میتوانیم بسیار دقیق اندازه‌گیری کنیم، لکن ممکن نیست پایه طبقه بندی را بر سیستم آنها متکی سازیم، لا اقل برای آنکه در بین آنها گاز، مایع و اجسام جامد وجود دارد.

عدم موفقیت‌های بیشمار تلاش برای پیدا کردن سیستم عناصر، سر انجام کمک کرد که در یابند که در بین خواص گوناگون عناصر چنان یگانه خاصیتی وجود ندارد که با مشاهدات مستقیم قابل دست رسی باشد و در عین حال همان باشد که برای پایه گذاری طبقه بندی مورد نیاز است. وزن اتمی عنصر خاصیت مورد جستجو، در خارج از شیمی قرار دارد و تماماً به فیزیک تعلق دارد. آن زمان که این مطلب را برای نخستین بار دریافتند میتوان سر آغاز آموزش معاصر عناصر شیمیائی شمرد. این گام بزرگ را جون دالتون برداشت.

عناصر و اتم‌ها

جون دالتون در میان دانشمندان همدوره‌اش شخصیت بسیار خود ویژه‌ای بود. در آغاز سده ۱۹ دیگر همگان به علم ایمان آورده بودند و اسراز قدرت آنرا دریافته بودند که دانش با اعداد سروکار دارد و اعداد هم فریب نمیدهند. بهمین جهت در آن دوران بهترین

ارزش‌هارا برای هنر انجام آزمایشات دقیق قایل بودند. دالتون فاقد این کیفیت قاطع بود و از این رو هم در دوران زندگی مورد حمله علمای محترم قرار میگرفت.

یکی از شرح‌حال‌نویسان درباره او چنین مینویسد: «ابزارها و وسایل کارش اساساً بدست خودش ساخته شده بود و قابلیت آنرا نداشتند که نتایج منظم و دقیقی بدست دهند، و روش کار آزمایش او هم لاقیدانه بود، اگر نگوئیم پلشت.»

با عقل و فراستی که داشت او یک تئوریسین نمونوی بود، همانطوریکه حالا این پیشه را در برابر خود مجسم میداریم. از این رو شایسته نیست در قضاوت نسبت بعدم دقت اندازه‌گیری در کارهای او خیلی سختگیر باشیم، او بر اساس آنها افکاری روشن و پر ثمر ایراد داشت که پیشرفت شیمی را طی صد ساله آتی مشخص ساخت. حقیقت کشف او عبارت از اینست که او: راه تجربی آزمون فرضیه اتمی را نشان داد.

دالتون عنصر را بمثابه ماده متشکل از اتمهای یک شکل تعریف کرد. اتم‌های مواد گوناگون برحسب وزنشان از هم متمایز میشوند که در کلیه تبدلات ماده، هم چنان بدون تغییر مانده و فقط دسته بندی مجدد آنها صورت میپذیرد. دالتون مینویسد: «با چنین مو فقیتی ما میتوانیم سعی کنیم سیاره نوینی بمنظومه شمسی اضافه کنیم مثل آنکه اتم هیدرژن را نابود سازیم و یا بوجود آوریم»

تاریخچه معاصر اتم از دالتون شروع میشود. او نه تنها نخستین کسی بود که به فرضیه اتم اعتقاد کامل داشت بلکه به تجسس نتایج حاصله از آن که ضمناً قابل رویت بودند پرداخت. جریان بحث و مباحثات او تقریباً از اینقرار است:

فرض کنیم که کلیه عناصر از اتم‌ها درست شده‌اند. آنگاه میگوئیم پس در ۱۶ گرم اکسیژن مقدار N اتم وجود دارد. حالا فرض کنیم در این اکسیژن بیائیم هیدرژن بسوزانیم. بسهولت میتوان اندازه گرفت که برای سوختن ۱۶ گرم اکسیژن باید ۲ گرم هیدرژن مصرف کرد و در نتیجه ۱۸ گرم آب بدست آورد.

نخستین تصوری که از فکر هر هوادار فرضیه اتمی خطور میکند اینست که هر اتم اکسیژن O با یک اتم هیدرژن H متصل میشود

و در نتیجه ملکول آب HO بوجود میآید. دالتون هم درست همینطور فکر کرد.

بعدها برتسلیوس ثابت کرد که دالتون کمی اشتباه میکند، زیرا درست با هر اتم اکسیژن دو اتم هیدرژن متصل میگردد و بهمین جهت هم فرمول آب بهمان شکلی که اکنون برای ما عادی است یعنی H_2O در میآید. اما در اینجا مهمترین ایده اینست که: با هر اتم اکسیژن شماره صحیحی از اتمهای هیدرژن متصل میشود. بنابراین اگر در ۱۶ گرم اکسیژن N اتم وجود داشته باشد، پس در ۲ گرم هیدرژن $۲N$ اتم وجود خواهد داشت. و این بدان معنی است که یک اتم اکسیژن ۱۶ مرتبه از اتم هیدرژن سنگینتر است.

بدین شکل بود که ممکن گشت وزن اتمهای عناصر مختلف را با هم مقایسه کرد. از اینجا نیز مفهوم وزن اتمی پدیدار شد، یعنی عددی که نشان میدهد وزن اتم یک عنصر چند مرتبه از اتم هیدرژن سنگینتر است. بر حسب تعریف وزن اتمی هیدرژن واحد وزن گرفته شد که در نتیجه وزن اتمی اکسیژن معادل ۱۶ خواهد بود.

این فکر ساده چه فوایدی خواهد داشت؟ قبل از هر چیز اکنون میتوان وزن اتمی دیگر عناصر را اندازه گرفت بر حسب آنکه چگونه به اکسیژن و یا هیدرژن متصل میگردند. مثلاً میتوان یقین حاصل کرد که همان ۱۶ گرم اکسیژن میتواند فقط ۱۶ گرم گوگرد را بسوزاند و گاز سولفورو بوجود آورد. از اینجا چه نتیجه میشود؟ خیلی ساده مثل همیشه میتوان فرض کرد که با هر اتم گوگرد یک اتم اکسیژن متصل میشود به این فرمول $S + O = SO$ و از اینجا میتوان نتیجه گرفت که وزن اتمی گوگرد ۱۶ است. اما اگر (هم چنانکه ما حالا میدانیم) عمل سوختن طبق فرمول $S + O_2 = SO_2$ صورت پذیرد پس آنوقت وزن اتمی گوگرد را باید معادل ۳۲ دانست.

از این مثال ما مشاهده میکنیم که فرضیه اتمی بخودی خود هنوز قادر نیست فعل وانفعالات شیمیائی را پیشگوئی کند، اما اجازه هم نمیدهد که ما بیش از یک مرتبه عدد صحیح را اشتباه کنیم.

مثلاً ما از قبل میتوانیم بگوئیم که با ۳۲ گرم گوگرد (که دارای N اتم است) میتواند یا N و یا $۲ N$ اتم اکسیژن متصل شود یعنی

با یک گرم ویا ۲ گرم ولی هرگز با ۱٫۳۵ گرم اکسیژن ممکن نیست. این تاکید درست محتوی قانون معروف ضریب تناسب است.

ضریب تناسب بین اوزان عناصر وارده در یک ترکیب همان نسبت صحیح وزن اتمی آنهاست.

دالتون در بین سالهای ۱۸۰۴ — ۱۸۰۵ به این نتیجه‌گیری رسید و درسال ۱۸۰۸ کتاب مشهور او تحت عنوان «سیستم نوین فلسفه شیمیائی» منتشر گشت که عصر کاملی را در علم گشود. دکتر و شیمی‌دان انگلیسی ویلیام ولاستن بلادرنگ شروع به آزمون نتایج حاصله از آن نمود (همان کسی که برای نخستین بار خطوط تیره را در طیف آفتاب پیدا کرد) و از صحت آن تعجب کرد.

اکنون برای ما مشکل است اشکالات آن دوران تیره و آشفته را در نظر آوریم. دورانی که نه فقط فرضیه اتم‌را انکار میکردند، بلکه بطور کلی شک داشتند که ترکیبات شیمیائی دارای ترکیب ثابتی باشند. مباحثات مشهور ۸ ساله بین پروست و برتوله معروفیت دارد و تنها در پایان همین بحث و جدل بود که پروست بالاخره ثابت کرد که هر ترکیب صرف نظر از اینکه چگونه و از کجا بدست آمده، اجزاء آن همواره یکی بوده و لایتغیر است. آب همواره همان آب H_2O هست که هست خواه از آسمان باریده باشد و خواه از رودخانه برداشته شده باشد و یا از سوزاندن هیدرژن در اکسیژن بدست آمده باشد.

حالا آخرین کار باقی‌ماند یعنی آموختن طرز تعیین وزن اتمی عناصر. برای اینکار لازم بود ساده ترین مواد انتخاب میگردید. قبل از همه به گازها توجه شد. و بلافاصله در سال ۱۸۰۹ دستیار سابق برتوله عالم فرانسوی لوئی ژزف گیلوساک* (۱۷۷۸ — ۱۸۵۰) (همان کسیکه با قانون گاز گیلوساک او را میشناسیم) کشف بسیار مهمی کرد: تناسب حجم دو گاز وارد در فعل و انفعال نسبت به یکدیگر همواره نظیر اعداد صحیح میباشد.

توجه کنید میگوید حجم نه وزن!

هم چنانکه ما بزودی خواهیم دید، این یک مسئله مهمی است.

Louis Joseph Gay — Lussac *

مثلاً برای آنکه آب بدست آوریم لازم است در یک حجم اکسیژن دو حجم هیدرژن را بسوزانیم. از اینجا خود بخود نتیجه میشود که: حجم‌های مساوی گاز حاوی تعداد اتم‌های یکسان میباشند.

دانشمند ایطالیائی آمدئو آوگادرو* (۱۷۷۶ — ۱۸۵۶) (لرنسیو روسانو آمدئو کارلو آوگادرو دی کوارگنا ادی کرتو) در سال ۱۸۱۱ درست بهمین نتیجه رسید، فقط آنرا بنحو دقیقتری جمله بندی کرد:

حجم‌های یکسانی از گازها حاوی مقدار یکسانی ملکول میباشند. همانطوریکه حالا میدانیم ملکول اکثر گازها مثل هیدرژن، اکسیژن، ازت وغیره از دو اتم مرکبند H_2، O_2، N_2. بعد از این دیگر فهمیدن تجربه کلاسیک سوزاندن هیدرژن در اکسیژن کار آسانی است. معلوم است که در اینصورت از یک حجم اکسیژن و دو حجم هیدرژن دو حجم بخار آب بوجود خواهد آمد.

این فاکت بطور خلاصه چنین نوشته میشود:

$$۲H_۲ + O_۲ = ۲H_۲O$$

اهمیت کشف گیلوساک و آوگادرو در چیست و چرا ما روی این فاکت ساده اینقدر تأمل میکنیم؟

بیائید یک بار دیگر زنجیره بحث و گفتگو را بررسی کنیم. حجم‌های مساوی گاز شامل تعداد یکسان ملکول میباشند. معلوم است که ۲ گرم هیدرژن حجمی معادل ۲۲,٤ لیتر اشغال میکند و تعداد ملکول‌های موجود در این حجم را با حرف N نشان میدهیم. همین تعداد N ملکول اکسیژن هم حجمی معادل ۲۲,٤ لیتر اشغال مینماید، اما در این حال وزن آنها ۲ گرم نبوده بلکه ۳۲ گرم است. از اینجا معلوم میشود که هر اتم اکسیژن ۱۶ بار سنگین‌تر از اتم هیدرژن و این بدان معنی است که وقتی وزن مخصوص هر گازی اندازه گرفته میشود در عین حال وزن اتمی آنهم معین میگردد.

تا بحال در هیچ جا واقعیت فرضیه اتم چنین روشن دیده نشده بود. واقعاً وزن مخصوص چنان کمیتی است که بسهولت اندازه‌گیری

Amedeo di Quaregna comte Avogadro *

میشود و آنقدر عادی است که روی حواس ما تاثیر میگذارد. حیرت‌آور آنست که با چنین وسیله ساده‌ای میتوان وزن اتمی‌را اندازه گرفت یعنی همان کمیتی که ما مستقیماً نمیتوانستیم حس کنیم بویژه که بدون شک حقیقت محض است.

تعداد ملکول N که در ۲۲٫۴ لیتر هر نوع گازی وجود دارد حالا عدد آوگادرو نامیده میشود. این یکی از ثابت‌های اساسی فیزیک است نظیر سرعت نور c و یا ثابت پلانک h. برای تعیین آن کافی است وزن مطلق M یک اتم هیدرژن را بدانیم. مادام که در ۲۲٫۴ لیتر ۲ گرم از این اتم‌ها وجود دارد پس $N = \frac{2}{M}$

پس از محاسبات ژوزف لوشمیدت که وزن مطلق و اندازه اتم هیدرژن را تعیین کرد، ارزیابی عدد N برای نخستین بار ممکن گشت. ضمناً از محاسبات او این نتیجه بدست آمد که فاصله بین ملکول‌های گاز تقریباً ۱۰ برابر زیادتر از اندازه خود ملکولهاست. اگر این نتیجه گیری قبلاً معلوم بود، آنوقت فرضیه آوگادرو آشکار میگردید: فاصله متوسط بین اتمهای گاز به اندازه آنها بستگی ندارد که از گازی به گاز دیگر تغییرش فوق‌العاده ناچیز است.

فرضیه آوگادرو خیلی زود بدست فراموشی سپرده شد و فقط پس از گذشت نیم قرن بوسیله عالم دیگر ایتالیائی استانیسلائو کانیسارو (۱۸۲۶ — ۱۹۱۰) در سال ۱۸۵۸ دوباره زنده گردید. این بسیار بموقع بود چونکه بین شیمی‌دانان آن دوران هیچ توافقی وجود نداشت و تقریباً هر یک از آنها فقط جدول وزن اتمی خود را قبول داشت، هوا داران شیمی آلی طرفداران شیمی غیرآلی را قبول نداشتند، و کنگره مشهورترین شیمی‌دانان که در سال ۱۸۶۰ در کارلسروهه تشکیل گردید نیز به هیچ توافقی نرسید. (باوجود این، قطعنامه ٤ سپتامبر ۱۸۶۰ با همه اینها، تفاوت بین اتم و ملکول را تثبیت کرد).

شیمی‌دان آلمانی لوتار مایر (۱۸۳۰ — ۱۸۹۵) چنین بخاطر میآورد که هنگام مراجعت از کنگره کارلسروهه، در کوپه قطار راه آهن رساله‌ای از کانیسارو قرائت میکرده است و چگونه با قرائت این رساله «پرده از برابر دیدگانش برداشته شد».

فقط حالا که سر انجام تعیین بقدر کفایت صحیح وزن اتمی عناصر ممکن گشته است، میتوان به طبقه بندی آنها پرداخت.

جدول عناصر

بنظر میاید که کار ساده ایست، باید کلیه عناصر را بر حسب وزن اتمیشان بطور تصاعدی کنار یکدیگر قرار داد تا فوراً خود بخود تناوبی بودن خواص آنها آشکار گردد. گاهی موضوع را چنین جلوه میدادند که گویا مندلیف نام کلیه عناصر معلوم آن دوران را در پشت کارتهای ویزیت نوشت و آنقدر آنها را چون ورق‌های بازی پاسیانس چید تا بخواب رفت و در هنگام همین خواب بود که حل مسئله را یافت. ممکن است این داستان کاملاً هم درست نباشد، ولی حتی کسانی که بصحت آن اطمینان دارند در هر حال باید بدانند که روز اول مارس سال ۱۸۶۹ از آنجهت بر سایر روزها و شبهای بیخوابی و بی‌ثمر مقدم گشت که در آن روزها مسئله چاره‌ناپذیر بنظر می‌آمد.

اشکال مسئله در چه بود؟ مثال انبوه بی نظم و ترتیب مکعبهای شماره شده را بخاطر بیاورید که ردیف هم قرار دادنشان اشکالی ندارد. اما عناصر شیمیائی بر چسب شماره زده‌ای ندارند، اینها موادی با رنگهای گوناگون، جامد، مایع و یا بصورت گاز میباشند. ما تنها میدانیم که بهر یک از آنها میتوان شماره‌ای موافق با وزن اتمی آنها داد. درست این شماره را در آغاز کار اساسی برای طبقه بندی گرفتند. البته میتوان کلیه عناصر را برديف تصاعدی وزن اتمیشان کنار یکدیگر قرار داد، همانطور که بسیاری هم چنین کردند، اما اینکاری بود که لایق پیشه وران بود نه استادان، قبل از همه از کجا معلوم است که ما کلیه عناصررا میدانیم؟ بدون چنین اطمینانی قرار دادن آنها برديف تصاعدی وزن اتمیشان چه معنائی میتوانست داشته باشد؟

در حقیقت، این مسئله همان بازی کودکانه با مکعب‌هارا بخاطر میآورد که روی آنها قسمتهائی از تصاویر نقش شده و باید آنهارا طوری کنار هم قرار داد که تصویر مطلوب بطور کامل هویدا

شود. حالا تصور کنید که چند مکعبی مفقود شده و در برخی از مکعب‌ها هم قسمتی از تصویر تحریف شده است. در اینصورت باز هم میتوان تصویر کامل‌را بازسازی کرد، البته با زحمت زیاد. در چنین حالی فقط باید کوشید بویژه مجموعه تصویر را بطور کامل پیش خود مجسم کرد و امید و انتظار نداشت که با قرار دادن خود سرانه و لا ابالی گرانه مکعب‌ها، آن تصویر خود بخود بدست آید.

دیمتری ایوانویچ مندلیف درست از این ودیعه تجسم سازنده بهره‌ور بود. او از همان آغاز، عناصر را بصورت اجزائی از یک سیستم یگانه پیش خود مجسم کرد نه بشکل مجموعه‌ای از سواد تصادفی. او در امر جستجوی این سیستم عناصر، کار را به تنها خواص فیزیکی یعنی وزن اتمی محدود نمیکرد (اگرچه آنرا اساس طبقه بندی میشمرد) بلکه ترکیب با کلیه سابقی خواص شیمیائی آنهارا از خاطر دور نمیداشت.

در زمان مندلیف ٦٣ عنصر شناخته شده بود. در جدولی که او در سال ١٨٦٩ ترتیب داد فقط ٣٦ عنصر از اصل تصاعدی وزن اتمی تبعیت میکرد. برای ٢٠ عنصر این اصل نقض شده بود و برای ٧ عنصر باقی مانده هم مندلیف وزن اتمی آنهارا طبق جدول خود تصحیح کرد. او بقدری به سیستمی که پیدا کرده بود اطمینان داشت که بر اساس آن خواص اصلی عناصری را که هنوز کشف نشده بودند پیشگوئی کرد و برای آنها در جدول خود محل‌هائی خالی گذاشت. واقعاً هم این عناصر بزودی کشف شدند: اسکاندیم نمره ٢١ در سال ١٨٧٥، گالیوم نمره ٣١ در سال ١٨٧٩، ژرمانیوم نمره ٣٢ در سال ١٨٨٦، رنیوم نمره ٧٥ در سال ١٩٢٥ و تکنسیم نمره ٤٣ که فقط در سال ١٩٣٧ از طریق ترکیب ساخته شد.

اگر خیلی سختگیر باشیم باید بگوئیم که مندلیف سیستم خود را بر اساس فاکتها کشف نکرد بلکه بر خلاف آنها. او مثل آنکه جدول خود را از قبل دیده باشد، فقط آن فاکتهائی را مورد توجه قرار میداده است که با نظر او تناقض نداشته است. مندلیف درست مثل آنکه به توده خطوط در هم و برهم تصاویر معمائی مثل «شکارچی کجاست؟» نگاه کند، به ناگاه حدود دقیق تصویر صحیح را مشاهده کرد. وقتی چیزی یکبار تمیز داده شد، دیگر ممکن نیست بعداً

متوجه آن نشد، هر قدر هم که بخواهی. (با این حقیقت روانی انسان همه بخوبی آشنا هستند). در اینجا مندلیف ما فوق عقل و شعور و ذکاوت خود را ظاهر ساخت که نبوغ را از استعداد متفاوت مسیازد، فراستی عالی که ودیعه نادر طبیعت است و به یاری آن میتوان از وراء سوانع و پوشش‌ها درون فاکتها را دید.

سر انجام سیستم تناوبی عناصر مندلیف مباحثات دیرینه بین مکاتب ارسطو و دمکریتوس را بر سر طبیعت عناصر فرو نشاند. در قسمت افقی جدول تغییرات نامرئی خواص اتم دمکریتوس یعنی وزن اتمی نموده میشود (کمیت) و در قسمت عمودی آن، عناصر بطور طبیعی در خانواده تشابه خواص شیمیائی دسته بندی میشوند: ظرفیت، قابلیت شرکت در فعل و انفعالات وغیره. این خواص است قابل رویت و روی حواس ما موثر و با «کیفیت‌های» قدیمی ارسطو قوم و خویشند.

از قرار معلوم لاگرانژ گفته است: «نیوتن خوشبخت بود چون سیستم جهانی را فقط یک بار میتوان تعیین کرد». مندلیف سیستم جهان شیمی را معین کرد که این را هم فقط یک بار میتوان معین کرد. از اینرو نام او نیز چون نام نیوتن تا وقتی علم وجود دارد هرگز فراموش نخواهد شد و جاودان است.

توضیح جدول

وقتی به جدول مندلیف نظر میافکنیم چنین سؤالی پیش میاید (همیشه هم پیش آمده بود): «این چیست — وسیله راحتی برای بخاطر سپردن عناصر ویا قانون اساسی طبیعت؟». از نظر مدرکانه شیمی‌دانان، جدول بازگوی مطالب فراوانی است، اما اکنون امکان آنرا نداریم که در باره تمام آنها سخن بگوئیم، ما سعی خواهیم کرد فقط این مطلب مهم را بفهمیم که: اگر این قانون طبیعت است پس:

ردیف مواضع عناصر در جدول چه چیزرا معین میسازد؟

علت خواص تناوبی آنها در چیست؟

درازای تناوب به چه بستگی دارد؟

طی نیم قرن از مندلیف تا پائولی، سعی شد به این سؤالات پاسخ داده شود. جدول عناصر را مکرر در مکرر از نو نوشتند، بریدند،

بر سطوح و در فضاء به انواع وسایل ممکنه و نا ممکن چسباندند ولی نشد که نشد. کماکان علت پدیده در بیرون خودش جای داشت، جدول را فقط فیزیک توانست توضیح دهد، آنهم پس از بوجود آمدن تئوری اتم*.

هم‌چنانکه دیدیم مندلیف میدانست که وزن اتمی مواضع عناصررا در جدول فقط بطور تقریبی تعیین میکند. با همه این، او موفق شد با یک وسیله‌ای که تنها بر او معلوم بود، عناصر را صحیحاً در جای خودشان در جدول قراردهد. حالا پس از اینکار، دیگر شماره گذاری تمام آنها پشت سر هم مشکل نبود. اما آیا چنین شماره‌گذاری ژرفی معنائی داشت؟ آخر اگر چنین باشد پس ما میتوانستیم مکعب‌های بازی موزائیک خودمان‌را هم شماره‌گذاری کنیم برای آنکه همیشه بتوان بسرعت تمام تصاویر را احیاء کرد. البته این کار خیلی راحت میبود، لکن مادام که شماره مکعب‌ها هیچ رابطه‌ای با آنچه روی مکعب‌ها رسم شده است ندارد، این شماره‌گذاری نمیتوانست معنای ژرفی هم داشته باشد.

آیا رابطه درونی ژرفی بین خواص شیمیائی عناصر و شماره ترتیبی آنها وجود دارد؟ یا اینکه این فقط یک نشانه ظاهری و اختیاری همانند شماره ترتیبی خانه‌ها در طول خیابانهاست؟ اگر واقعاً اینطور باشد، آنوقت با کشف هر عنصر نوینی لازم میآمد شماره‌های عناصر را عوض کرد درست همانطوریکه شماره خانه‌هارا پس از تکمیل ساختمان خانه‌ها تعویض میکنند. خلاصه شماره ترتیبی عناصر در جدول یا وسیله راحتی برای پیدا کردن عناصر در جدول است و یا یک خصلت درونی که ذاتاً بهیچگونه جدولی بستگی ندارد؟ تاریخ موید همین آخرین فرض است زیرا طی صد سال موجودیت جدول، حتی یک بار هم شماره عناصر تعویض نگردید.

حل معمای چنین پا بر جائی جدول، فقط پس از آثار رزرفورد ممکن گشت. در سال ۱۹۱۱ وقتی رزرفورد مدل سیاره‌ای اتم خود را منتشر ساخت وان در بروک هلندی در مجله آلمانی یادداشت کوتاهی درج کرد که طی آن فرض شده بود:

شماره ترتیبی عناصر در جدول مندلیف معادل است با بار هسته اتم آنها.

دو سال بعد، هنگامیکه یکی از بهترین شاگردان رزرفورد بنام هنری گوین جفریس موزلی* (۱۹۱۵ — ۱۸۸۷) طیف رنتگن عناصر گوناگون را مطالعه میکرد، این فرضیه‌را ثابت نمود.

خدمت موزلی حادثه مهم فیزیک حتی در آن سالهای پر اکتشافات بشمار رفت. اما او موفق نشد کارش‌را بپایان برساند. زیرا در یک روز آفتابی، ۱۰ اوت سال ۱۹۱۵ در سنگر شبه جزیره گالیپولی گلوله‌ای بسر او اصابت کرد و در دم جان سپرد. بدین ترتیب در آن روز در بندرگاه سووا واقع در تنگه داردانل یک دانشمند بزرگ فیزیک در لباس افسر ارتباط گروهان استحکامات فدای یک جهالت جهانی گردید.

ماهیت و اهمیت کشف او در چه بود؟

قبل از هر چیز از آن نتیجه میشود که عناصر بطور صحیح در جدول جای داده شده‌اند.

علاوه براین، نشان‌دهنده آن است که کلیه عناصر کشف شده‌اند به استثناء آنهائی که در جدول جایشان خالی گذارده شده است.

یک چنین تایید قاطعی همواره دارای نیروی جاذبه وصف ناپذیری است. بویژه وقتی ارزش آن ظاهر میشود که صحبت از سیستم جهانی در میان باشد. پس از آثار موزلی سیستم عناصر شیمیائی بالاخره بطور نهائی تثبیت گردید و فقط باقی مانده بود خود ویژگی‌های آنرا بفهمند.

طبیعت بر سر آنست که تا بتوان خواص اصلی خود را از انظار طبیعت شناسان پنهان دارد. بار الکتریکی هسته اتم، خود را در زیر پوستینی از الکترونها با کمال اطمینان مخفی کرده بود که با هیچیک از روش‌های شیمیائی و اکثر روش‌های فیزیکی قابل اندازه گیری نبود. این خاصیت اتمها را آنگاه توانستند لمس کنند که شروع به بمباران آنها با گلوله‌ای چون ذره — α کردند. بعلاوه بویژه همین خاصیت در ژرفا پنهان گشته است که ساختمان اتم و کلیه خواص عناصری‌را که از این اتم‌ها مرکب شده‌اند معین میسازد. و اگر ما میخواهیم واقعاً اتم را بشناسیم اول باید به هسته آن دست یابیم.

Henry Gwyn Jeffreys Moseley *

(همانند داستان کاشه جاویدان* که میگوید: بر فراز کوهستانی درخت بلوطی میروید که بر آن صندوقچه‌ای قرار دارد که در آن خرگوشی، در خرگوش اردکی، در اردک بیضه‌ای، در بیضه سوزنی است که در انتهای آن طلسم زندگی یا مرگ کاشه قرار دارد).

بر حسب یک علت ژرفی که ما هنوز بطور کامل با آن آشنا نیستیم، بار هسته اتم تقریباً دو مرتبه از وزن اتمی آن کمتر است. از این رو وقتی ما عناصر را در ترتیب تصاعدی اوزان اتمی آنها قرار میدهیم بطور کم و بیش صحیحی ترتیب تصاعدی بار هسته این اتمها را بنا کرده‌ایم. البته مندلیف از هسته اتم اطلاعی نداشت ولی او احساس میکرد که اتم دارای خاصیت دیگری هم هست که ژرفتر از وزن اتمی میباشد و بهمین جهت وقتی عناصر را در جدول خویش قرار میداد بیشتر به احساسات درونی خویش اعتماد داشت تا به وزن اتمی. گوئی او به زیر پوسته الکترونی اتم نظر انداخته و در آنجا بارهای مثبت هسته را بر شمرده و سپس عدد بدست آمده را بملکیت عنصر در آورده باشد و آنرا شماره ترتیبی آن نموده است. ظاهراً شماره ترتیبی، یک خصلت درونی عنصر بوده و واضح است که مستقل از امیال ما میباشد، نه مثل شماره خانه‌ها در خیابانها. (اگر مقایسه خود را با اسباب بازی کودکانه موزائیک ادامه دهیم، آنوقت میتوان گفت که کلیه مکعب‌های آن در حقیقت شماره گذاری شده بودند، ولی این شماره‌ها در درون آنها پنهان بودند).

اکنون سر انجام میتوان عناصر را دقیقاً مشخص کرد.

عنصر — ماده‌ای است مرکب از اتمهائی با هسته‌های دارای بار مشابه.

باقی ماند آخرین مطلب را روشن سازیم، که چرا تغییرات یکنواخت بار هسته اتم‌ها منجر به تغییرات تناوبی خواص شیمیائی آنها میگردد؟ در این حال نه فقط خواص شیمیائی بلکه خواص فیزیکی آنها هم تغییر میکند: مثل وزن مخصوص، سختی و حتی حالت تراکم. مثلاً عناصری با شماره‌های ترتیبی ۲، ۱۰، ۱۸، ۳۶ عبارتند از گازهای هلیوم، نئون، آرگون و کریپتون که گازهای نجیب نامیده میشوند و این

---

* کاشه جاویدان — نام یکی از داستانهای قدیمی روسی است. م.

صفت را از آنجهت داده‌اند که آنها قادر نیستند در فعل و انفعالات معمولی شیمیائی شرکت کنند. اما اگر بار هسته این اتمها فقط یک واحد افزایش یابد، آنگاه عناصر ۳، ۱۱، ۱۹، ۳۷، بدست میآید که عبارتند از فلزات قلیائی لیتیوم، سدیم، پتاسیوم، روبیدیوم که بهیچوجه شباهتی به گازهای همسایه خود ندارند، نه از لحاظ خواص فیزیکی و نه شیمیائی. مثلاً سدیم و پتاسیوم بقدری بسهولت وارد فعل و انفعال شیمیائی میگردند که آنهارا در هوای آزاد نمیتوان نگاهداری کرد. زیرا خود بخود مشتعل میشوند.

ظاهراً علت تناوبی بودن تغییرات خواص عناصر را باید در پوسته الکترونی محیط بر هسته جستجو کرد نه در خود هسته. نخستین فکری که از اینجا بروز میکند اینست که الکترونها در اطراف هسته قشر قشر قرار گرفته‌اند نه اینکه بی نظم و ترتیب. آغاز پر شدن اقشار نوین مطابق است با شروع تناوب تازه و درست در این لحظه خواص شیمیائی عنصر بصورت جهشی تغییر مینماید. پس از اقدامات بوهر بود که نظیر چنین فکری بسیار طبیعی بنظر آمد و او خود آنرا برای اولین مرتبه یاد آور شد.

لیکن مشاهداتی که انجام گرفت هیچگونه وسیله‌ای برای محاسبه دارازای تناوب بدست نداد. در نظر اول درازای تناوب، در جدول خیلی بوالهوسانه تغییر مییابد چون در دوره I دو عنصر، در II و III هشت، در IV و V هجده، VI سی و دو عنصر موجود است. اما در همان سال ۱۹۰۶ یوهان ریدبرگ متوجه شده بود که ردیف اعداد ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ از فرمول ساده $۲n^{۲}$ تبعیت میکند. این قانونمندی را فقط در سال ۱۹۲٤ پائولی توانست توضیح دهد، البته پس از آنکه اصل منع کشف شد.

نحوه فکر و قضاوت پائولی بسادگی قابل درک بود. در حقیقت حرکت الکترونها در اتم با چهار عدد کوانتائی تصویر میگردد که در باره آن طی فصل قبلی مفصلاً صحبت کردیم و بار دیگر یاد آوری میکنیم.

n — عدد کوانتائی اصلی که میتواند مقادیر ۱ , ۲ , ۳،... را قبول کند؛ l — عدد کوانتائی مداری که با مفروض بودن n مقادیر ۰ , ۱ , ۲ , ... , $(n - ۱)$ را قبول میکند؛

m — عدد کوانتائی مغناطیسی که با مفروض بودن n و l یک سلسله مقادیر $l, (l-۱) \dots ۱, ۰, -۱, \dots, -(l-۱), -l$ را که روی همرفته $۲l+۱$ است میپیماید؛ S — عدد کوانتائی اسپین

که مقادیر $-\frac{۱}{۲}$ و $+\frac{۱}{۲}$ را میپذیرد.

اصل منع پائولی حاکی از آنست که:

در اتم نمیتواند دو الکترون وجود داشته باشد که اعداد کوانتائی آنها یکی باشد.

بنابر این در پوسته با شماره ترتیبی n فقط عده معدودی الکترون میتواند جای گیرد. مثلاً: در اولین پوسته فقط دو الکترون جای میگیرد. در واقع اگر عدد کوانتائی اصلی معادل $n=۱$ باشد، آنگاه برای گشتاور مداری فقط یک رقم $l=۰$ مجاز میباشد، همینطور عدد کوانتائی مغناطیسی هم خواهد بود $m=۰$ و اسپین الکترون که به دیگر اعداد

کوانتائی بستگی ندارد میتواند دو رقم $S=\frac{۱}{۲}$ و $S=-\frac{۱}{۲}$ را بپذیرد. طبق آنچه گفته شد در نخستین سطح کوانتائی میتواند فقط دو الکترون با اعداد کوانتائی $\left(n=۱,\ l=۰,\ m=۰,\ S=\frac{۱}{۲}\right)$

و $\left(n=۱,\ l=۰,\ m=۰,\ S=-\frac{۱}{۲}\right)$ جایگزین گردد. با استدلال نظیر میتوان یقین حاصل کرد که در دومین پوسته ۸ الکترون، در سومین ۱۸ و بطور کلی در پوسته با عدد کوانتائی اصلی n تعداد $۲n^۲$ الکترون جای میگیرد. یعنی تعداد الکترونهائی که پوسته اتم را پر کرده‌اند معادل درازای تناوب جدول مندلیف است.

برای آنکه بطور آشکاراتری علت پدیدار شدن این اعداد برایمان روشن گردد فرض کنید شما باید در کوئی که دارای n خانه است عده‌ای را سکنی دهید و خانه‌ها با اعداد $l=۰, ۱, ۲, \dots, (n-۱)$ شماره گذاری شده‌اند و ضمناً در منزل شماره l فقط $(۲l+۱)$ آپارتمان موجود است. اگر در هر آپارتمان سکنی دادن بیش از ۲ نفر منع شده باشد آنگاه در تمام این کوی فقط $۲n^۲$ نفر مسکن خواهد کرد نه بیشتر.

هر تناوب از جدول مندلیف با فلز قلیائی شروع شده و به گازهای خنثی ختم میشود. خواص شیمیائی این عناصر جداً با هم فرق دارند. اکنون بسهولت میتوان علت اختلافات آنها را فهمید. گازهای خنثی هلیوم، نئون، آرگون و غیره تفاوتشان با تمام سابقی عناصر در آنست که پوسته آنها کاملاً پر است.

اتمهای فلزات قلیائی لیتیوم، سدیم، پتاسیوم، وغیره که در جدول بعد از گازهای خنثی جا داده شده‌اند، هر یک در پوسته نهائی که مرتفع ترین پوسته آنهاست دارای یک الکترون هستند: این الکترون نسبت به دیگر الکترونها خیلی ضعیفتر به هسته بستگی دارد، و بهمین جهت هم اتمهای فلزات قلیائی بسهولت آنهارا از دست داده و بصورت یون با یک بار مثبت در میایند Li^+، Na^+، K^+ وغیره.

بر عکس در اتم‌های فلوئور، کلر، بروم وغیره پوسته خارجیشان یک الکترون لازم دارد تا مثل پوسته گازهای نجیب مسدود گردد. از اینرو آنها که هالوژن هستند با ولع الکترون‌را بخود متصل میکنند و تشکیل یون منفی میدهند F^-، Cl^-، Br^- وغیره. وقتی اتمهای سدیم و کلر رو برو گردند، آنوقت سدیم الکترون خارجی خود را به کلر میدهد و در نتیجه یون‌های Na^+ و Cl^- بوجود میاید. این یون‌ها مجذوب یکدیگر شده و ملکول NaCl را تشکیل میدهند که همان نمک طعام معروف همگان است.

در ضمن ما توانستیم معنای مفهوم ظرفیت را هم دریابیم که تعیین شیمیائی آن خیلی مشکل است، پس ظرفیت عناصر در ترکیبات عبارتست از تعداد آن عده از الکترونهای اتم که در تشکیل اتصال شیمیائی شرکت میجویند. به آسانی دیده میشود که ظرفیت نیز همدوش دیگر خواص شیمیائی باید بطور تناوبی بعد از هر ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ عنصر در آغاز پر شدن پوسته بعدی تکرار شود.

در قرن گذشته اعداد ۲، ۸، ۱۸، ۳۲ موجب حیرت شده بود و آنهارا «سحرآمیز» مینامیدند و به اشکال گوناگون تلاش میشد آنهارا تعبیر و تفسیر کنند، مثلاً از خاطر میگذراندند که جسم هشت سطحی از محکمترین کثیرالوجوه ها میباشد، و یا در فلسفه بودائی آموزشی در باره هشت طریقت نیکی وجود دارد. لکن تصور نمیرود

که کسی فکر میکرد برای آنها چنین توضیح و تفسیری ساده وجود داشته باشد.

اگر دالتون، لاوازیه، مندلیف و دیگر کسانیکه در زمان خود تمام عمر و نیروی خویش را وقف مطالعه و آموزش سیستم عناصر شیمیائی کرده‌اند، امروز سر بر میآوردند، مسلماً از دیدن دانش خالصی که سر انجام در زمینه عناصر بدست آمده است غرق در سرور و شادی میگشتند. بجای گروه و دسته‌بندی تصادفی مواد که حتی همیشه معلوم نبود، عنصر یا مخلوط هستند این دانشمندان سلسله مراتب اتم‌هارا از هیدرژن تا کورچاتووی * مشاهده میکردند.

این هماهنگی را ما مدیون مکانیک کوانتائی هستیم که آشنائی با آنرا اکنون آغاز میکنیم.

اتم‌ها، هسته‌ها، ایزوتپ‌ها

اگر خداوند در پنجمین روز یکجا «همه چرندگان و پرندگان و ماهی‌ها» را آفریده است بعید بنظر میرسد که از اتمها اطلاعی نمیداشته است و یا نمیخواسته است به چنین جزئیاتی توجه کند. اما اگر میخواست اول از همه اتمهارا درست کند، آنوقت ساده تر از همه آن بود که

---

* Kurtchatovi عنصر شماره ۱۰۴ با علامت Kv که به افتخار دانشمند فیزیک شوروی کورچاتف به این نام نامیده شده است. این عنصر بطور صنعی ساخته شده است و دارای ایزوتپ های ۲۵۷، ۲۵۸ — ۲۵۹ — ۲۶۱ میباشد. م.

همانطوریکه پرائوت بموقع خود پیشنهاد میکرد، همه اتمهارا از اتم هیدرژن آغاز مینهاد.

از آنجا که وقتی دو هسته هیدرژن (پروتن ها) بهم نزدیک گردند یکدیگر را دفع خواهند کرد، طبیعت یک ذره دیگری اختراع کرد بنام نوترون که با پروتن ها میتواند هسته ثابتی ایجاد نماید.

بار نوترون معادل صفر است و جرمش تقریباً بطور دقیق معادل جرم پروتن. اگر دو پروتن و دو نوترون را با هم متصل سازیم، آنها هسته هلیوم را تشکیل خواهند داد که بسیار ثابت است (همان ذره $-\alpha$ که رزرفورد در تجربیات خود از آن استفاده کرده بود). واضح است که اتم هلیوم چهار مرتبه از اتم هیدرژن سنگین تر است و از اینرو هم وزن اتمی آن معادل ٤ میباشد. دو الکترون هلیوم در پوسته پائینی با اعداد کوانتائی $n = ١$, $l = ٠$, $m = ٠$،

$S = + \frac{١}{٢}$ و $S = - \frac{١}{٢}$ جای گرفته‌اند.

اگر به هسته هلیوم باز هم یک پروتن و یک نوترون اضافه کنیم آنوقت هسته لیتیوم با وزن اتمی ٦ بدست خواهد آمد. اما سومین الکترون لیتیوم دیگر در نخستین پوسته نمیتواند جای گیرد و به پوسته بعدی میافتد با عدد کوانتائی $n = ٢$. مفروضات بدست آمده از فاکتها درست با تناوب جدید در جدول مندلیف مطابقت دارد که از لیتیوم آغاز میشود. در پوسته $n = ٢$ تعداد الکترونهائی که جای میگیرند معادل $٢n^٢ = ٨$ میباشد (دو الکترون در مدار $n = ٢$ و $l = ٠$ و شش الکترون دیگر در مدار $n = ٢$، $l = ١$، $(m = -١, ٠, ١)$ متدرجاً که پروتن و نوترون به هسته لیتیوم و الکترونی به پوسته آن اضافه شود یکی پس از دیگری تمام اجزاء دومین تناوب از لیتیوم تا نئون بدست میآید.

اما در اینجا ما برای اولین مرتبه با پدیده نوینی بر خورد مینمائیم. در حقیقت ما دقیقاً میدانیم که برای بدست آوردن هسته اکسیژن باید به هسته لیتیوم ٥ پروتن افزود. مادام که بارهسته لیتیوم معادل ٣ و بار هسته اکسیژن ٨ میباشد، پس چقدر نوترون باید اضافه کرد؟ معلوم گردیده است که گاهی ٥ و گاهی هم ٧ لازم میآید. بدین مناسبت وزن اتمی اکسیژن گاهی ١٦ و گاهی ١٨ است. اما باید

دید در اینصورت ما از کلمه «اکسیژن» چه باید بفهمیم؟ آیا این همان اکسیژنی است که تنفس میکنیم؟ اکنون ما میدانیم که این یک مخلوط طبیعی ایزو تپهای اکسیژن با اوزان اتمی ۱۶ و ۱۸ است و یک زمانی در طبیعت بوجود آمده و با هیچ وسیله شیمیائی جدا کردن آنها مقدور نیست، زیرا خواص شیمیائی عناصر به وزن اتمی آنها بستگی ندارد و فقط به بار هسته اتم آنها و به خود ویژگی ساختمان پوسته الکترونی آنها بستگی دارد (مندلیف نسبت به مفهوم وزن اتمی توجه خاصی توام با احتیاط فراوان مبذول میداشت و از همین رو هم وقتی عناصر را در جدول جای میداد به احساسات درونی خویش بیشتر اعتماد داشت تا به ردیف طبیعی اوزان اتمی. فقط اکنون است که ما میتوانیم برای این درک عمیق مندلیف ارزشی واقعی قایل شویم).

اصطلاح ایزوتپ را فردریک سودی در سال ۱۹۱۲ بکار برد. برگردان تحت‌الفظی آن از یونانی چنین است: «هم جا» (در جدول مندلیف). معلوم شد که در طبیعت هر عنصری دارای چند ایزوتپ و گاهی هم خیلی، مثلاً هیدرژن دارای ٤ و سرب ۱۰ ایزوتپ است. بیشتر از همه قلع دارای ایزوتپ است که تعداد آن به ۲۶ میرسد. در طبیعت بالغ بر ۱۵۰۰ ایزوتپ عناصر گوناگون شمرده شده است.

پس از کشف ایزوتپ‌ها بود که «عنصر ناب» از «مخلوط» تمیز داده شد.

«عنصر ناب» — این ماده‌ای است که فقط از اتمهای یک نوع که دارای جرم‌های مساوی بوده و هسته های آنها دارای بار مساوی باشند تشکیل گردیده است. برای نشان دادن چنین عنصری به اختصار چنین نوشته میشود مثلا O^{16}_{8} یعنی اکسیژن با بار ۸ و وزن اتمی ۱۶. «عنصر مخلوط» و یا همان عنصر معمولی شیمیائی که عبارتست از مخلوط طبیعی «عنصر ناب».

با کشف ایزوتپ‌ها مسئله نوینی بروز کرد، پس اکنون وزن اتمی چگونه اندازه‌گیری شود؟ یعنی اکنون با وزن کدام عنصر آنها را باید مقایسه کرد؟ معلوم گردید که دیگر مقایسه آنها با وزن اتمی هیدرژن نا مناسب است و از سال ۱۹۶۱ در سراسر جهان مقیاس کربنی

پذیرفته شد که در آن $\frac{1}{12}$ وزن ایزوتپ کربن C^{12}_{6} بعنوان واحد جرم اتمی تعیین شده است.

در اثر خدمات فرانسیس ویلیام آستن * (۱۸۷۷ — ۱۹۴۵) و بسیاری دیگران، اکنون ما میتوانیم وزن اتمی را با دقت خیلی زیادی اندازه‌گیری کنیم. مثلاً وزن اتمی هیدرژن H^{1}_{1} برحسب مقیاس کربنی معادل ۱٫۰۰۷۸۲۵۲۲ خواهد بود.

«عنصر ناب» و یا «مخلوط» برای شیمی یکسان است، چون با دقیق‌ترین روش تجزیه هم از یکدیگر تمیز داده نمیشوند. بویژه که با حواس نامکمل بشری دست یافتن به آنها مقدور نیست. اما این تفاوت گاهی برای همگان قابل رویت میگردد و برای بسیاری هم مرگبار. کسانی که پس از حادثه مخوف هیروشیما و ناکازاکی زنده مانده‌اند تفاوت بین ایزوتپ‌های بی آزار اورانیوم را با ایزوتپ U^{235}_{92} که نخستین بمب اتمی از آن پر شده بود برای همیشه بخاطر خواهند داشت.

اتم و بشریت

در بین دانشمندانی که سیستم عناصر را ثابت و پا برجا کردند، شخصیت های جالبی وجود دارند، حالا این تصادفی بوده است یا نه، در هر صورت واقعیت است.

روبرت بویل **
(۱۶۲۷ — ۱۶۹۱)

شخصی خارق‌العاده بود. فلسفه فرنسیس بکن و آموزشش دایر بر اینکه تجربه معیار اصلی حقیقت است روی او تاثیر قاطع گذاشت.

---

* Francis William Aston

** Robert Boyle

شاید بهمین علت هم بود که او نخستین قانون کمی در فیزیک را ثابت کرد که امروزه مشهور به قانون گاز بویل — ماریوت است. جالب آنست که بویل از لحاظ روش کار بما نزدیک تر است تا به عصر خودش، او مقالاتش را خود نمینوشت بلکه به منشی خود دیکته میکرد، او خود تجربه نمیکرد بلکه به دستیارش محول مینمود (اتفاقاً از این حیث هم شانس آورد، چون دستیار او روبرت هوک بود که بعدها خود شهرت بسزائی یافت).

بویل چهاردهمین فرزند و پسر هفتم خانواده ثروتمندی بود. از همان اوان کودکی سنگ کلیه او را رنج میداد و شاید هم همین تا اندازه‌ای نحوه زندگی او را تعیین کرد. او ازدواج نکرد و بسیار متدین بود و بگفته دوستانش که بیش از ٤٠ سال او را میشناختند، او هرگز نام «خدا» را بدون تعظیم و تکریم بر زبان نمی‌آورد. ١٦ سال (١٦٧٧ — ١٦٦١) ریاست کمپانی مشهور هند شرقی را بعهده داشت، در این مقام بیش از همه به امور میسیون های مذهبی در مستعمرات سرگرم بود. تقریباً یک ثلث آثار علمی او مربوط به علوم الهی است. او بخرج خود تورات را بزبانهای ترکی، عربی و مالزی برگرداند و حتی بزبان هندیهای امریکائی.

در عین حال بویل یکی از مؤسسین جمعیت سلطنتی است که خود یکی از اولین اعضاء آن بود.

او مردی بلند بالا و لاغر اندام بود که در اواخر عمر رنگ‌پریده و ناتوان گشته بود. با وجود شهرتی که داشت، معذلک زندگیش بسیار ساده، و خودش با انضباط، شرافتمند و فوق‌العاده با نزاکت بود. هنگامیکه در سال ١٦٨٠ لقب پر بدو اعطاء میکردند، او از پذیرفتن چنین افتخاری سرباز زد، زیرا وجدان او اجازه نمیداد سوگندی را که در چنین موارد باید یاد کرد ادا نماید. بویل در بستر خود هنگامیکه مشغول تصحیح اثر خود بنام «رساله تاریخ عمومی هوا» بود جان سپرد.

جون دالتون *

۱۷۶۶ — ۱۸۴۴

در ۵ سپتامبر سال ۱۷۶۶ در خانواده نساج فقیری در کامبرلند واقع در شمال انگلستان متولد شد. وقتی بسن تحصیل رسید او را به دبستانی در یکی از روستاهای نزدیک فرستادند. ۱۲ سال بیشتر نداشت که آموزگار این دبستان باز نشسته گشت و او شخصاً اداره مدرسه را بعهده گرفت و ابتدا در خانه خود و سپس در خانه محل اجتماع کواکرها مشغول تدریس شد و دو سال بدینمنوال گذشت. البته این فاکت بخودی خود بسیار غیرعادی است. ولی از آن نه تفسیری و نه خاطره‌ای بجای نمانده است.

او یکسالی هم در بنگاه کشاورزی کار کرد و سپس در ۱۵ سالگی نزد برادر بزرگش جوناتان رفت. دو برادر به اتفاق هم‌مدرسه‌ای تاسیس کردند و ۱۲ سال مشغول تدریس بودند تا وقتیکه در سال ۱۷۹۳ جون را به منچستر برای تدریس در کالج جدیدی دعوت کردند و شش سال در آنجا مشغول تدریس ریاضیات و فیزیک بود. در اینجا بود که او در جمیعت ادبا و فلاسفه منچستر شرکت جست و سخنرانی‌های علمی در آنجا ایراد داشت. نخستین سخنرانی او راجع به نقص دید رنگها در حس بینائی بود که او خود از آن رنج میبرد و این بیماری امروزه بنام دالتونیسم معروف است. (این شوخی در باره اوست که میگویند، در تمام عمرش یک آلبالوی رسیده نخورد! م.)

او تا پایان عمر در منچستر بسر برد و پس از ۷ سال بیماری فلج در ۲۷ ژوئیه سال ۱۸۴۴ بدورد حیات گفت.

خانواده دالتن از پیروان کواکرها بود که از سختگیرترین شعب پروتستان ها میباشد. شاید هم درست همین وضع و احوال بود که خطوط اصلی خصایل طبیعی او را ژرفتر ساخت. او بسیار زندگی موزونی داشت، روزهای او تغییر ناپذیر بود، حتی همسایگانش از روی خروج صبحگاهی او برای یادداشت درجات دماسنج و هوا سنج، میتوانستند ساعت را با دقایق آن بدانند. روز کار او در ساعت ۹ شب پایان

John Dalton *

میافت. بعد از صرف شام در جمع خانواده مینشست و بکشیدن چپق مشغول میشد و فقط جملات کوتاهی آنهم بندرت ایراد میکرد.

همیشه روزهای پنجشنبه بعد از نهار بجای آنکه سرکار برود به چمنزار کوچک جنب کافه کوچک «سگ و کبک» میرفت تا به گوی بازی مشغول شود. در آنجا بیکباره متانت و وقار را کنار میگذاشت، با جنب و جوش غیر عادی که باعث حیرت حاضرین میشد با هیجان دست ها را به اطراف تکان میداد و با شور و شوق غیر منتظره‌ای گوی هارا پرتاب میکرد. پس از چند شرطبندی که همیشه دقیقاً حساب شده بود و صرف چای و کشیدن دائمی چپق، آنروز را به پایان میرساند، شب وقتی به خانه باز میگشت که بررسی شبانه هواشناسی آغاز میشد. روزهای یکشنبه در حالیکه شلوار ویژه کواکرها را تا زانو به تن داشت، با جورابهای خاکستری رنگ و کفشهای سگکدار دو بار متظاهرانه در عبادت همگانی شرکت میکرد. اگر چه هرگز در مسایل دینی اظهار عقیده نکرده است.

میتوان گفت که او تقریباً چیزی نمیخواند و حتی گاهی خود ستائی میکرد که «میتواند تمام کتابخانه‌اش را بر دوش کشد و تازه نیمی از همین کتابهارا هم نخوانده بود.». «در او نیز مانند هر خود آموخته‌ای اعتماد و اعتقاد راسخ به آنچه خود یافته بود بمراتب بیشتر از تمایل بدانستن آنچه دیگران انجام داده اند بود». این نقل قولی بود از نوشته‌های یکی از شرح حال نویسان درباره او.

او از لحاظ خصوصیات انسانی تاثیرات ناگواری روی معاصرین خود گذاشته بود. برادر همفری دوی بعدها درباره او نوشت: «او بد منظر و حرکات و رفتارش تنفرانگیز بود... صدایش نازک و پرخاشجو، راه رفتنش نا هموار و ناموزون بود.»

نظر اعضای جمعیت فلاسفه منچستر هم نسبت به او تقریباً همینطور بود اگر چه بمناسبت خدمات علمیش در سال ۱۸۱۷ وی را بسمت ریاست جمعیت انتخاب کردند. در اواخر عمرش معروف همگان گشته بود: در سال ۱۸۲۲ او را بعضویت جمعیت سلطنتی و در سال ۱۸۳۰ بجای همفری دوی هشتمین عضو خارجی آکادمی پاریس که سال قبل فوت شده بود بعضویت آکادمی پذیرفتند.

در چنین مواردی نسل های آینده، مثل همیشه. از معایب و نواقص شخصی دانشمندان چشم پوشیده و فقط عالیترین جهات مثبت آنها یعنی ایده‌های آنهارا بخاطر میسپارند. مسلماً همین خود یکی از علل پیشرفت جامعه بشری است.

آنتونیوس وان دن بروک
(۱۸۷۰ — ۱۹۲۶)

او از لحاظ تخصص، حقوق شناس بود، و در مواقع فراغت با علم سر گرم میشد و این خود نیز از نوادر قرن ۲۰ بشمار میآید، اما وان دن بروک از سایر الحاظ نیز شخصیت شایان توجهی بود. با اینکه او بکارهای علمی علاقه ژرفی داشت از جلسات علمی و بحث و مباحثه رو گردان بود. فلسفه زندگیش او را گیاهخوار کرده بود، اما طرز لباس پوشیدنش بویژه کفش هائی که میپوشید مسلماً مال قرن دیگری بود.

هنگامیکه رزرفورد را از فرضیه وان دن بروک مطلع ساختند با عصبانیت گفت «فقط عالم نمایان میتوانند بخود اجازه دهند که بخاطر سر گرمی، فوراً بدون داشتن هیچ اساس و مبنای کافی حدسیات بسیاری ابراز دارند». آثار و عواقب این خصومت و دشمنی دیر زمانی بجای ماند و پس از گذشت سالیانی هنگامیکه بوهر در آثار خود در باره تئوری اتم به وان دن بروک اشاره کرد، رزر فورد با پافشاری اظهار عدم رضایت کرد.

قسمت ۲

نظریه



فصل ششم

نظریه بوهر از نظر معاصرین ◇ پدیده، شکل، مفهوم، فرمول ◇ مکانیک اتمی هیزنبرگ

چند سال دیگر، فضانوردان هنگام باز گشت از مریخ چندین تن فیلم و نمونه‌هائی با خود خواهند آورد، اما اهمیت اصلی پرواز آنها در این نیست، بلکه در خاطراتی است که همراه میآورند. برای آنان بسیار مشکل خواهد بود در اطراف این خاطرات سخن گویند. قبل از هر چیز بدین علت که در زبان خاکیان چنان کلماتی وجود ندارد که بتواند درست آنچه آنها را بحیرت انداخته است بیان دارد.

اما آنها در حین راه طولانی بازگشت، متفقاً شروع برفع این مشکلات میکنند، آنها در ضمن سرور خاطرات اخیر خود ناچارند برای بیان آنها واژه های نوین بیاندیشند و یا ترکیب‌های غیرعادی از کلمات بسازند، زیرا غیر از این راهی ندارند، در هر صورت باید زبان مشترکی یافت تا بتوان با هم سخن گفت و منظور یکدیگر را فهمید.

لکن مشکلات واقعی تازه پس از بازگشت بزمین آغاز میشود زیرا اکنون باید از خاطرات خود برای جماعت سخن گویند، زیرا اینان که در پرواز همراهشان نبوده‌اند و هنوز بهمان سبک قدیم و شیوه خاکی کلمات آنان را خواهند فهمید. مدتها طول خواهد کشید تا شنوندگان این فضا نوردان واژه های نوین را بیاموزند و همانند آنها درک کنند.

همیشه و همه جا چنین بوده است، چه در علم و هنر و چه در فن و سیاست. معنای واژه بر حسب سنن و عادات معین و مشخص میشود، اما حقایق فکر آنها از قرینه روشن و آشکار میگردد. وقتی انسان با پدیده نوینی مواجه میشود، خواه نا خواه آنرا با همان واژه های قدیمی بیان مینماید، اما حالا در آنها فکر و نظر دیگری نهفته است،

اما این فکر را وقتی میتوان دریافت که منشاء این مفاهیم تازه و ارتباط آنها با گذشته دانسته شد.

این کشش به جدا کردن معنای لازم کلمه از معنای عادی آن که منجر به پیدایش ژارگون علمی میگردد، از همان آغاز عدم رضایتی در مصححین ادبی ایجاد میکند که قابل فهم است. تازه کاران دور از علم افراط کرده و با عدم اطلاع از سیستم مرکب شرایطی که در محیط هرگونه ادعای علمی حکمفرماست، کلیه ادعاها را کلمه بکلمه و یا باصطلاح طوطی وار می‌پذیرند و آنها را عمیقاً در نمی‌یابند. از اینروست که اغلب اوقات سوء تفاهماتی پیش میاید که برای فیزیک دانان خنده آور و برای تازه‌کاران دلخور کننده است.

در پایان سده گذشته و آغاز قرن حاضر، فیزیکدانان جهان نوینی کشف کردند ـ جهان اتم. پدیده‌های نوین، اشکال و قانونمندی‌های بیحد و حصر، آنهارا متحیر کرده بود. آنان بزودی دریافتند که باید فکری برای نامگذاری آنها نمود، اما خیلی هم آگاه نبودند که چه فکری را باید در آنها گنجاند. بسیاری در جستجوی مترادفها بودند و بطور کلی اعتماد بکلمات را از دست دادند و فقط به معادل‌ها اطمینان کردند. این یک «دوران آشفتگی» در فیزیک بود، اگر چه درست در همین دوران بود که چنان فاکت های اساسی بدست آمد که تا امروز هم دانش اتمی بر اساس آنها استوار است. تا بحال ما سعی کردیم هر چه ممکن است بیشتر از فاکتها مطلع گردیم. اکنون میکوشیم واژه‌هائی بیابیم که فصیح تر این فاکتها را بیان دارند.

صحبت از مکانیک کوانتائی را با این تعریف شروع کردیم: مکانیک کوانتائی ـ علمی است درباره ساختمان و خواص موضوع های اتمی و پدیده‌های آنها. فوراً معلوم شد که ما قادر نیستیم مفهوم «اتم» را تعریف کنیم. عیناً درست همانطوریکه اکنون نیز نمیتوانیم آنرا تعریف کنیم، با اینکه نسبت به اول خیلی بیشتر راجع به آن اطلاعات داریم. در قسمت اول کتاب ما دقیقاً دیدیم که چگونه منظره اتم تحت تاثیر تجربیات از اشکالی بغرنج به اشکالی با وضوح کمتری ولی واقعی تر تبدیل گشت.

در آغاز قرن ما هیچکس باور نمیکرد که اتم گویچه ای محکم

است و از تصورات اولیه دمکریتوس فقط این ایده باقی مانده بود که: در طبیعت برای تقسیم ماده حدی وجود دارد که پس از آن کیفیات نوینی کسب خواهد کرد.

دانشمندان بتدریج ثابت کردند که اتم واقعاً وجود دارد و اصلاً هم شباهتی به اتم دمکریتوس ندارد. دریافتند که اتم مرکب است از هسته و الکترونها. آشکار شد که اتم میتواند اشعه پخش کند. ثابت کردند که این اشعه با حرکت الکترونهای اتم مربوط است. حالا لازم میآمد که قانون این حرکت دانسته شود. آنوقت بود که مکانیک کوانتائی را اختراع کردند.

نیلس بوهر چنین شروع به ایجاد آن نمود: ابتداء آشکارا متوجه شد که عدد ثابت پلانک h یک فرضیه تفننی برای کمک به توضیح طیف جسم سیاه مطلق نبوده بلکه یک واقعیت فیزیکی است که در توضیح کلیه پدیده‌های اتمی مورد نیاز است. بر اساس این نظریه بود که او اصول مسلم مشهور خود را در باره حالت ثابت و جهش کوانتائی فرمول بندی کرد. اصول مسلم بوهر با تمام فیزیک قبلی متناقض بود لکن در هرج و مرج خود سرانه فاکتهای تجربی جدید یک نظم و ترتیب غیر منتظره‌ای بوجود آورد.

اما علم هیچ چیزی را روی اعتقاد قبول نمیکند، حتی اگر اصول مسلم بوهر باشد. یا باید آنهارا دور میانداختند و یا تضاد آنهارا رفع میکردند. در مورد چگونگی حل این مسئله و بوجود آمدن تئوری پدیده‌های اتمی منتجه از آن بعداً صحبت خواهیم کرد.

تئوری بوهر از نظر معاصرین

آلبرت اینشتین* در سال ۱۹٤۹ دوران بوجود آمدن مکانیک کوانتائی را چنین بیاد میآورد: «کلیه تلاش‌های من برای ساز گار کردن پایه های نظری فیزیک با نتایج نوین با عدم موفقیت کامل رو برو شد. این درست مثل آن بود که زمین از زیر پا برکنار رود و هیچ جا زمین محکمی که بتوان بر آن متکی شد بچشم نخورد. این

Albert Einstein (۱۸۷۹-۱۹۵۵)*

همیشه بنظر من معجزه میآید که چنین اساس متزلزلی و بکلی متضادی چگونه توانست بوهر این انسان مالک فراستی داهیانه و احساساتی ظریف و رفیق را قادر سازد مهمترین قانون طیف خطی و پوسته الکترونی اتم و اهمیت آنها را برای شیمی بیابد. حتی اکنون هم این برای من معجزه‌ای شمرده میشود. این عالیترین مرحله آهنگ‌داری در تفکر و ادراکات است».

همیشه پس از گذشت زمان آسانتر و مطمئن‌تر میتوان اکتشافات را ارزیابی کرد. برای معاصرین هر اکتشافی کار بمراتب مشکل‌تر است، زیرا آنان اطلاعات بسیار کمی دارند و قادر نخواهند بود شایستگی نظریه را از نواقص آن تمیز دهند. معاصرین بوهر نیز علیرغم کلیه موفقیت های تئوری وی معذلک بهیچوجه قانع نمیشدند.

آنچه در آن دوران نوشته و گفته‌اند برای ما غیرعادی و آموزنده است.

«اگر این صحیح باشد، پس بمعنی پایان فیزیک بعنوان علم است (آ. اینشتین ۱۹۱۳)

«اتم موجودیت ابدی است، بدون شک و تردید این‌را میدانیم، اما ما این را میفهمیم؟ نه، نمیفهمیم. ما بی اطلاعی خود را در زیر شرایط نا مفهوم کوانت مستور میداریم. جریان پخش اشعه — این خود دلیل بر احیاء اتم ویران شده است. مکانیسم آن برای ما مفهوم نیست. باز هم عدم دانائی خود را در زیر شرایط نامفهوم کوانت دومین فرضیه بوهر... . پنهان میداریم. تمام این روش های بوهر بر پایه کوانتا کردن کاملاً کورکورانه، جریان تفکری با منطقی ضعیف و باصطلاح فراستی ظاهری متکی است» (د. س. راژدستونسکی ۱۹۱۹).

«تئوری کوانت‌ها نظیر دیگر پیروزیهای علمی است که چند ماهی شما از آن خندانید ولی بعداً سالها گریان» (گ. کرامرس ۱۹۲۰).

«قانون کوانتا کردن در فرمولبندی کنونیش تا حدودی خصوصیات الهی دارد که برای طبیعیون بهیچوجه قابل قبول نیست. بطوریکه بسیاری از علما بحق از این Bauern — Regeln (قوانین روستائیان) خشمگینند» (پ. اپشتین ۱۹۲۲).

«ما از چنین توضیحات مکانیسم اتمی دورتر از آنیم که امکان دهد مثلا حرکت الکترونها در اتم‌هارا بررسی کنیم و یا نقش حالت ثابت را بفهمیم...

... تئوری کوانت را میتوان با درمانی مقایسه کرد که مرض را مداوا میکنه ولی بیمار را میکشد» (گ. کرامرس، خ. گولست ۱۹۲۳).

«فیزیک اکنون مجدداً به بن بست افتاده. حداقل برای من فوق‌العاده مشکل شده است و من ترجیح میدهم دلقک سینما و یا چیزی شبیه به آن بودم و چیزی از فیزیک بگوشم نمیخورد!» (پائولی ۲۱ مه ۱۹۲۵).

وضع آنروزی تئوری حتی خود بوهر را هم دچار یک نوع «احساس افسردگی و نا امیدی» کرده بود. فهمیدن این عدم رضایت بالاتفاق برای کسانیکه با ساختمان و روش های فیزیک امروزی بکلی نا آشنا هستند بسیار مشکل است. برای درک علل اینگونه عدم رضایت‌ها باید لااقل خطوط کلی منطق درونی علوم طبیعی را پیش خود مجسم کرد. البته چنین اشتغالی غیر معمولی و شاید هم ساده نباشد، اما برای فهمیدن مکانیک کوانتائی مطلقاً لازم است.

در کتب درسی مکانیک کوانتائی قبل از هر چیز انبوه فرمول ها و معادلات اشخاص کم تجربه را مبهوت میسازد. ولی بزودی یقین حاصل میکنند که اگرچه لازم است ولی مشکلترین قسمت دانش اتمی نیست. فهمیدن اینکه در آنسوی فرمول‌ها چه نهفته است و یا باصطلاح فیزیکی «فهم فکر و معنی فیزیکی فرمول» بمراتب مشکل تر است. البته لازم هم نیست این مشکلات را بزرگ کرد، اما مادام که در هر صورت یک واقعیت موجود هستند، بخاطر آوردن آنها مفید است. حقیقت مطلب در آنست که باید بسیاری از واژه‌هائی که از دوران کودکی برایمان عادی شده است، در مکانیک کوانتائی از آنها در معنی غیرعادی استفاده کنیم.

پدیده، شکل، مفهوم، فرمول

هرگونه آشنائی با طبیعت از احساس شروع میشود: کودک اسب چوبین خود را بادست لمس میکند، بصدای مادر گوش فرا میدهد، پستانک را میمکد، خلاصه از همان نخستین روز زندگی در جهان پدیده‌ها گام مینهد که هریک در او شکلی از خود بجای میگذارد. این پدیده‌ها

و شکلها هنوز برای او بینام و نشانند، فقط متدرجاً شروع به آموختن واژه‌های معادل آنها میکند و یاد میگیرد که بفهمد در پشت کلمات مردم دیگر چه اشکالی نهفته است. بزودی او در مییابد که عین یک کلمه در اشخاص مختلف اشکال متفاوت پدید میآورد. و سر انجام برایش روشن میشود که واژه‌هائی (یا گروه کلمات) هستند که مستقیماً با اشکال رابطه ندارند، اگرچه در اثر آن بوجود آمده‌اند. این همان مفهوم است.

مفاهیم که تجربیات دستجمعی را تعمیم میدهد و عمداً از جزئیاتی که خاص اشکال معین هستند محروسند وبه‌همین جهت هم برای بر قراری تماس بین اشخاص مختلف مفید میباشند.

کودک که رشد کرد شروع میکند به اندیشیدن مفاهیم، یک مرتبه متوجه میشود که «اسب چو بینش» فقط یکی از «اسباب بازی ها» میباشد و «آب» حتماً نباید آب دریا باشد، میتواند از رودخانه و یا از شیر لوله آب باشد، ولی در هر صورت آب است. قابلیت تجرید — این نخستین نشانه بلوغ انسانی و شرط قطعی هر علمی است و اگر غیر از این میبود به انبوه تا منظم فاکتها مبدل میگشت.

اما مفهوم کاملاً یک معنائی نیست، لااقل بدان جهت که در اشخاص مختلف اشکال متفاوت پدید میآورد. حتی در زندگی روزمره چنین یک معنائی نبودن‌ها ممکن است به سوء تفاهمات منجر گردد. این در علم خطرناک‌تر است، چون نتایج آن مدعی معنی عینی بوده و نباید بهوس بازی اشکال و نظر اشخاص مختلف وابسته باشد. از اینجاست که در علم هر مفهومی با علامات و اعدادی مطابقت داشته و قواعدی دقیق برای عمل کرد با آنها وجود دارد. دست یابی به چنین یکمعنائی علمی بدانشمندان کشورهای مختلف و نسل های بعدی امکان میدهد باهم تماس گیرند.

رابطه :

پدیده ← شکل ← مفهوم ← فرمول -

را میتوان بطور ترسیمی نشان داد و بوسیله آن مثلاً پدید آمدن مفهوم موج را تشریح نمود.

اشخاص ناظر پدیده‌های گوناگون میگردند: موج آب دریا، حلقه‌هائی که در اثر سقوط سنگی بر سطح آب ظاهر میشود، پخش نور و بالاخره

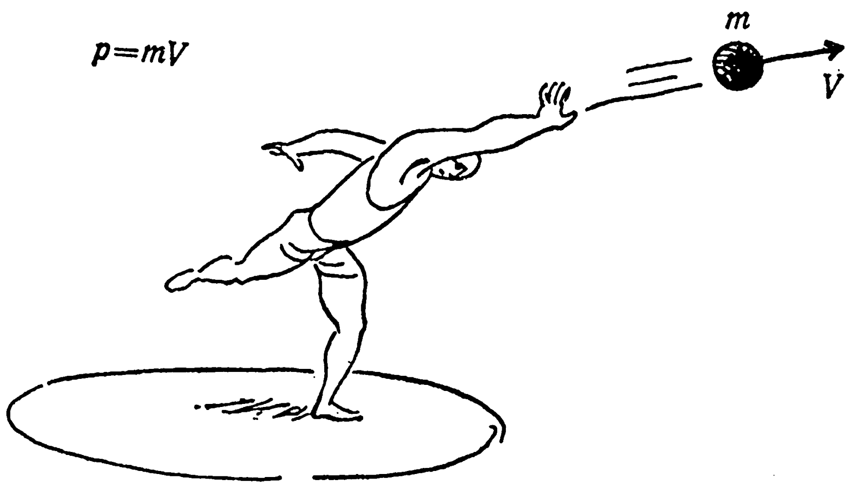
نوسان سیم‌های تار. در این حال در ذهن آنها اشکال کاملاً مشخصی نقش میبندد. متدرجاً آنها در مییابند که این پدیده‌های مختلف یک چیز ویژه مشترکی دارند: تمام آنها با انواعی از جریانات تناوبی ارتباط دارند که علامت مشخصه آن عبارتست از پدیده انترفرانس و پراش (ما در باره آنها قبلاً بطور مفصل صحبت کردیم). بدین شکل بود که مفهوم تازه موج پدیدار گشت. برای یکمعنائی کردن کامل آن، چهار خصوصیت بدان مربوط ساختند: دامنه A، سرعت انتشار v، طول موج λ و بسامد ν.

درست همینطور است برای مفهوم ذره که نباید از آن شکل مشخصی مثل توپ بلیارد، ساچمه و یا گرد و غبار در ذهن خود مجسم کرد. برای یک فیزیک‌دان کاملاً کافی است که بداند ذره — موضوعی است که بساختمان درونی آن کاری ندارد، اما دارای جرم m سرعت v و ممان $p = mv$ و مسیر حرکت است که عالم فیزیک میتواند آنها را مطالعه و بررسی نماید.

مسیر — باز هم یک مفهوم تازه که هنگام تعیین مفهوم «حرکت ذره‌ای» باید از آن استفاده کرد. در نظر اول این جریان حد و مرزی ندارد، چو نکه برای تعیین مفهومی باید از مفهوم دیگری استفاده کرد که بنوبه خود باید آنرا هم معین نمود و الی آخر. اما اینطور نیست. در فیزیک چند مفهوم اولیه وجود دارد که آنهارا میتوان بدون استناد به دیگری تعیین نمود و درست نسخه سنجش اندازه‌ای که بر این مفهوم منطبق است داد. این مفهوم‌ها نظیر زمان t، مختصات x، بار e وغیره میباشند.

مسیر حرکت ذرات وقتی مفروض است که در هر لحظه زمان t بتوانیم موقعیت ذره را در فضا یا مختصات آن x را نشان دهیم. برای این هم یا باید مختصات x را در لحظات زمان t اندازه گرفت و یا آنهارا محاسبه کرد. مسئله اول را فیزیک تجربی و مسئله دوم را فیزیک نظری حل میکند. اما مسئله دوم را فقط وقتی میتوان حل کرد که قوانین فیزیکی که ذره طبق آنها حرکت میکند معلوم باشد.

قانون فیزیکی چیست؟ این رابطه ثابت پدیده‌ها و اندازه هاست که بکمک نشانه‌های ریاضی بصورت معادله نوشته میشود. هر گروه از پدیده‌ها دارای قانون حرکت خاص خود میباشند. در مکانیک یک



قانون (معادله نیوتن)، در الکترودینامیک قانون دیگری (معادله ماکسول) وجود دارد. مفاهیم، قوانین فیزیکی، فرمول‌های بیانگر آنها و نتایج حاصله از آنها را یکجا در مجموع علوم دقیقه مینامند.

هر علم کاملی نباید تضاد منطقی داشته باشد. از جمله این بدان معنی است که هر مفهومی در چهار چوبه آن علم فقط میتواند در یک معنای کاملاً معین بکار برده شود. نیل بدان مشکل است اما لازم، چونکه علما هم مانند سایر مردم بین خود آمیزش دارند البته نه بزبان فرمولها بلکه کلمات. آنها فرمولهارا فقط برای آن لازم دارند که نتایج را به یک معنا ثبت نمایند.

دیر زمانی مکانیک نمونه تکامل منطقی علم شمرده میشد و بعلت همین تکاملش هم آنرا کلاسیک مینامند. مکانیک — علم حرکات جسم است. تقریباً کلیه حرکات عیانی در طبیعت از قوانین آن تبعیت میکند. از بال زدن پروانه تا حرکت سیارات. تکامل کلاسیکی مکانیک مدتها بطوری علمارا مقهور خود کرده بود که آنها سعی داشتند بکمک آن نه تنها حرکات مکانیکی بلکه کلیه جنبش های موجود در طبیعت را توضیح دهند.

حتی هنریخ هرتس در سال ۱۸۹٤ در آستانه انقلاب فیزیکی نوشت:
«همگان بالاتفاق معتقدند که وظیفه فیزیک‌دانان عبارتست از آنکه کلیه پدیده‌های طبیعت‌را تحت ساده‌ترین قوانین فیزیکی در آورند.»

حرکت — یکی از مرکبترین مفاهیم فیزیکی است. هر شکلی از حرکت، از زمزمه برگ درختان تا دویدن کرگدن، همه با تصور

آزادانه آن مربوط میباشد. حتی خیال‌پردازانه‌ترین حرکات که در مخیله ما بگنجد بازهم یک چیز مشترکی با آن دارد و آنهم جا بجا شدن یک سوژه‌ای نسبت به دیگری در طول زمانی میباشد. مفهوم حرکت پس از برقراری مفهوم مسیر مشخص‌تر میگردد، بویژه از آنجهت که در این حال مجدداً دارای چهار عینیت میگردد. فقط حالا دیگر این عینیت‌ها از نوع خاصی هستند: شکلی که از آن در ذهن ما نقش میبندد بهیچوجه به پروانه و یا کرگدن شباهت ندارد. با همه این مربوط کردن عینیت با مفهوم مسیر کار خطرناکی است. واقعاً هم تکرار زود زود ترکیب کلماتی «مسیر حرکت» منجر به عدم تمیز آن دو مفهوم از یکدیگر میگردد اگر چه آنها فقط در یک نوع حرکت یعنی مکانیکی بر هم منطبق میگردند. اما از آنجا که شرایط رشد و آموزش و پرورش انسان چنان است که تصور حرکت دیگری جز مکانیکی برایش مشکل است، سعی دارد هر نوع حرکت دیگری را هم بکمک مفهوم مسیر پیش خود مجسم سازد. طبیعی است که این کار همیشه هم مقدور نیست، مثلاً در امر تلاش برای تصور حرکت الکتریکی. البته میتوان تصور کرد که فرضاً در خطوط برق با فشار قوی و یا در خطوط تلفن‌های بین‌شهرها، سیم‌ها همان «مسیر» علامات الکتریکی هستند، لکن یک تفکر واقعی نمیتواند چنین شکلی داشته باشد، زیرا امواج علامات الکتریکی مایع نیستند که در سیم‌ها جریان بکنند.

تعریف مفهوم حرکت در مکانیک کوانتائی باز هم مشکل‌تر است. از اینرو هم درست همان روزی را که مقدور گشت که این مفهوم بدون تناقض تعریف شود، باید روز تولد مکانیک کوانتائی معاصر شمرد.

مکانیک اتمی هیزنبرگ

هنگامیکه شور و شعف حاصله از نخستین پیروزی تئوری بوهر فروکش کرد، بیکباره همگان آگاهانه این حقیقت ساده را اعتراف کردند که طرح بوهر متناقض است. فرار از این فاکت غیر ممکن بود و علت را هم باید در بدبینی آنروزی اینشتین که برابر با ناامیدی پائولی بود جستجو کرد.

دانشمندان فیزیک مکرر در مکرر اظهار عقیده میکردند که الکترون هنگام حرکت در اتم از قانون الکترودینامیک تبعیت نمیکند: بر هسته ساقط نمیشود و حتی تشعشع نیز نخواهد کرد بشرط آنکه اتم تحریک شده نباشد. تمام اینها بقدری غیر عادی بود که بعقل نمیگنجید: الکترون که از الکترودینامیک «منشاء» گرفت، حالا یک مرتبه از تحت نظارت قوانین آن سرباززده و خارج گشته است. علما در هر تلاشی برای پیدا کردن راه خروج منطقی از چنین دایره مسدودی همواره به این نتیجه میرسیدند که: اتم بوهر نمیتواند وجود داشته باشد.

اما طبیعت کاری بکار منطق پردازی های ما ندارد، علیرغم هر گونه منطق ما، اتمها همچنان پایدار و بر قرارند و آنقدر که ما میدانیم تا ابد وجود خواهند داشت. اگر قوانین الکترودینامیک قادر نیستند پا بر جائی اتمهارا تامین کنند، وای بر حال آنها، پس معلوم میشود حرکت الکترون در اتم تابع دیگر قوانینی است.

بعداً معلوم گردید که اصول مسلم بوهر حدسیات موفقیت آمیزی در باره قوانین اساسی ولی در آنموقع نا معلوم میباشد که کمی بعد بنام قوانین مکانیک کوانتائی شهرت یافتند.

مکانیک کوانتائی — علمی است در باره حرکت الکترون در اتم. در آغاز آنرا مکانیک اتمی خواندند. ورنرکارل هیزنبرگ از نخستین کسانی است که سعادت پایه گذاری این علم را داشت. در بهار سال ۱۹۲۵ هیزنبرگ برحسب دعوت بوهر از مونیخ به کپنهاگ آمد. او در آنجا تازه اونیورسیته را تحت رهبری زسرفلد تمام کرده بود. در دانمارک او بلافاصله وارد مباحثات علمی گردید که بین اشخاصی که فیزیک برایشان مهمترین کار زندگی شمرده میشد جریان داشت. شش ماهی گذشت. اما چه در کار و چه در مباحثات بی پایان، باز همان بود که بود: چرا الکترون — سوژه الکترودینامیک — از قوانین آن طی حرکتش در اتم پیروی نمیکند و علت نیروی شگفت انگیز اصول مسلم غیر منطقی بوهر در چیست؟ و بالاخره در این جریان خود مفهوم «حرکت» چه معنائی دارد؟

تابستان فرا رسید. هیزنبرگ که بیمار شده بود برای استراحت به جزایر گلگولاند در دریای شمال رفت. او نتوانست استراحت کند

چون یک مرتبه این حقیقت بخاطرش رسید که: نمیتوان حرکت الکترونها در اتم‌را چون حرکت گوی کوچکی در مسیری پنداشت. از آنجهت ممکن نیست که الکترون گوی نبوده بلکه چیز مرکب تری است و نمیشود حرکت این «چیز» را مثل حرکت گوی بلیارد مورد بررسی قرار داد. و اگر این حدس درست باشد، آنگاه ما در تلاش خود برای بررسی مسیر الکترون در اتم، سؤال غیر قانونی به طبیعت میدهیم نظیر آنچه قدما میدادند: «کره ارض بر چه متکی است؟»، «انتهای آن کجاست؟». و کمی بعد تر «بالا و پائین آن کجاست؟».

هیزنبرگ ثابت نمود که: معادله‌ای که بکمک آن ما میخواهیم حرکت در اتم‌را بیان داریم نباید شامل هیچ اندازه‌ای جز آنهائی که میتوان از طریق تجربی اندازه گرفت باشد. از تجربیات هم نتیجه شده بود که اتم پایدار بوده و از هسته و الکترونها تشکیل یافته و میتواند اشعه پخش کند اگر آنرا از حالت تعادل خارج سازیم. این اشعه دارای طول موج کاملا معین بوده و اگر بوهر را قبول داشته باشیم، این اشعه هنگام جهش الکترون از یک مدار ثابت بمدار دیگر پدید میایند. طرح بوهر، درباره اینکه بر الکترون در لحظه جهش و یا «پرواز» بین دو حالت ثابت چه میگذرد، چیزی نمیگوید. همگان و از جمله خود هیزنبرگ، بر حسب عادت میخواستند بویژه پاسخ این سؤال‌را بدست آورند. اما در لحظه‌ای برای او روشن گردید که الکترون «در بین» حالات ثابت قرار نمیگیرد و چنین خاصیتی را هم ندارد!

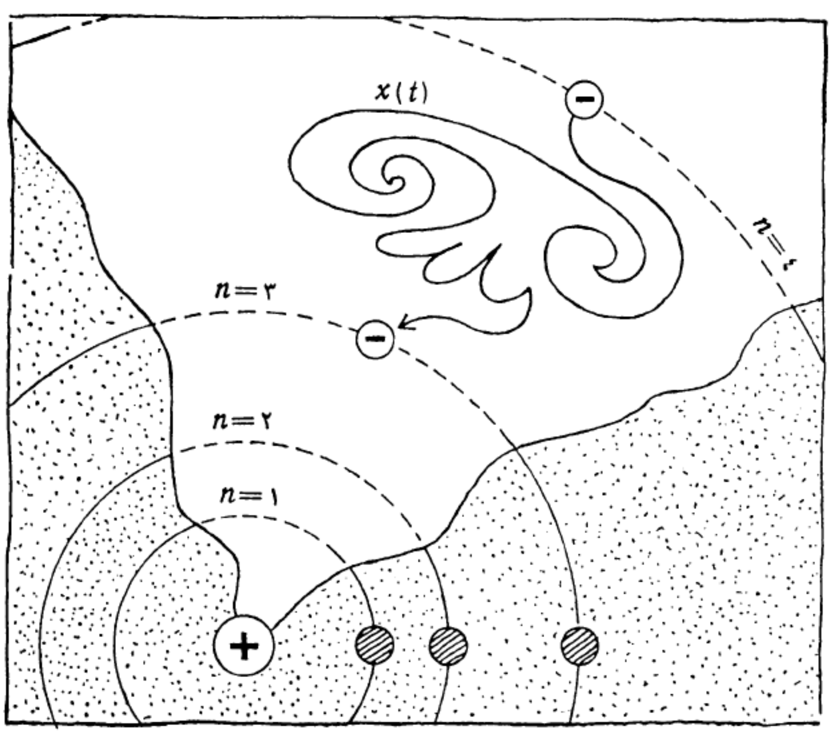
پس چه هست؟ یک چیزی هست که او حتی عجالتاً اسمش را هم نمیداند، ولی مطمئن است که آن باید مربوط به این باشد که الکترون به کجا و از کجا آمد.

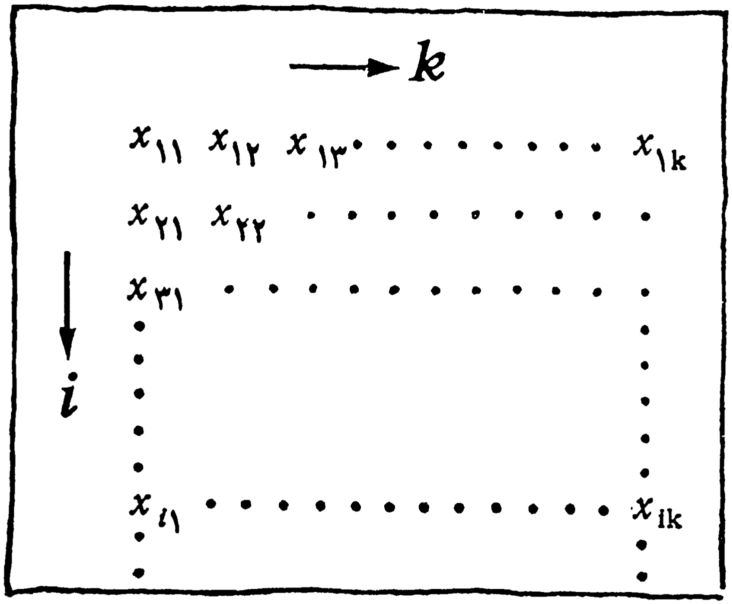
تا بحال همه از روی معادلات الکترودینامیک سعی داشتند یک مسیر فرضی برای الکترون در اتم بیابند که همواره تابع زمان باشد و بمواضع مشخص الکترونها در لحظات زمان $t_۱$، $t_۲$، $t_۳$... . بتوان ردیف اعداد $x_۱$، $x_۲$، $x_۳$... را نسبت داد. هیزنبرگ معتقد بود که چنین مسیری در اتم وجود ندارد، و بجای منحنی پیوسته $X(t)$ یک دسته اعداد منفصل X_{nk} وجود دارد که تعداد آن وابسته به شماره n و k آغاز و پایان حالت الکترون میباشد.

این مدعی مهم و بسیار مرکب را میتوان با مقایسه ساده‌ای توضیح داد. فرض کنید صفحه شطرنجی در برابر شما قرار دارد و مگسی هم با بیحالی بر آن پای میکشد. اگر در هر لحظه زمان t ، موقعیت x آنرا معین سازیم، آنگاه مطالعه دقیق راهی را که او طی میکند امکان پذیر خواهد بود. بر حسب این مفروضات شما بسهولت میتوانید منحنی $X(t)$ را رسم کنید که همان مسیر حرکت مگس خواهد بود. اگر هم چنین تمایلی ندارید، آنوقت میتوانید به نشانه‌های مربع‌های خانه‌ها اکتفا کنید که مگس طی حرکت خود از آنها گذشته است. این خود یک نوع اطلاعاتی از جابجا شدن او میدهد، کاملاً ساده است که از نقطه نظر مکانیک کلاسیک چنین طرز بیانی کامل نیست.

اکنون فرض کنید که روی همان صفحه شطرنج دارید بازی میکنید و تصمیم گرفته اید که با حرکت سنتی $e۲ - e٤$ بازی را آغاز کنید. در این صورت نتیجه این بازی شما بهیچوجه بستگی بدان ندارد که شما مهره پیاده‌را از خانه $e۲$ چگونه به خانه $e٤$ برده‌اید زیرا قواعد و مقررات شطرنج با قوانین مکانیک بستگی ندارد و بهمین جهت احتیاجی به مفهوم مسیر نیست.

هیزنبرگ فهمید که «قواعد بازی اتمی» نیز به دانستن مسیر احتیاجی





ندارد. و از اینجا او حالت اتم‌را چون صفحه شطرنج بیحد و حصری در نظر گرفت که در هر خانه آن عدد X_{nk} نوشته شده است. مسلم است که مقدار این اعداد بستگی به موقعیت آن خانه در «صفحه شطرنج اتمی» دارد یعنی به شماره n ردیف‌های افقی (حالت ابتدائیه) و شماره k ستونهای عمودی (حالت پایانی) که در محل تقاطع آنها شماره X_{nk} قرار دارد.

هیچکس شک ندارد که یادداشت حرکات یک دست بازی شطرنج امکان میدهد که آنرا عیناً تکرار کنند هر چند سال هم که از آن گذشته باشد. البته در این صورت ما نمیدانیم در آنموقع بازی واقعاً چقدر طول کشیده است و یا از اضطراب و تشویش بازی کنانش اطلاعی نخواهیم داشت و یا درست هنگام جابجا کردن سهره‌های پیاده و یا سوار دست را چگونه حرکت داده‌اند. البته هیچیک از آنها برای ما مهم نیست، چیزی که برای ما جالب است همانا جریان خود بازی میباشد.

عیناً همینطور اگر عدد X_{nk} برای ما معلوم باشد که خود نوعی یادداشت «بازی اتمی» است، آنوقت آنچه از اتم لازم است ما میدانیم برای آنکه بتوان از قبل خواص مشهود آنرا بگوئیم مثل طیف اتم، شدت خطوط طیفی آن، تعداد و سرعت الکترونها جدا شدن اشعه فرابنفش از اتم و بالاخره بسیار چیزهای دیگر.

اعداد X_{nk} را نمیتوان مختصات الکترون در اتم خواند. این اعداد جانشین مختصات و یا بطوریکه بعداً مرسوم شد گفته شود، نماینده مختصات هستند. در اوایل هیچکس از معنی این کلمات چیزی نمیدانست حتی خود هیزنبرگ.

واقعاً هم بجای جدول اعداد $\{X_{nk}\}$، بهمین طریق میتوان همه چیز را ترسیم کرد، هر چه بخواهید، مثلاً گل و بعد هم گفت بله این درست نمایشگر حرکت الکترون در اتم است. اما بزودی بکمک ماکس بورن * (۱۹۷۰ — ۱۸۸۲) و پاسکوال یوردان توانستند بفهمند که اعداد $\{X_{nk}\}$ یک جدول سادهای نبوده بلکه ماتریس است.

معنای این کلمه چیست؟ در ریاضیات ما با اندازهها و علامات سرو کار داریم و هر علامتی در آن تابع قواعد عمل خود میباشد. مثلاً اعداد ساده را میتوان جمع، تفریق، ضرب و تقسیم کرد و دربعضی موارد این عملیات وابسته به این نیست که بچه ترتیبی عمل انجام گرفته ۵ × ۳ = ۳ × ۵ و ۵ + ۳ = ۳ + ۵.

اما در ریاضیات مباحث مرکبتری وجود دارد: اعداد منفی و مختلط، ماتریسها و غیره. ماتریس — جدولی است از نوع اعداد $\{X_{nk}\}$ که برای آنها عملیات جمع و ضرب کاملاً معین خاص خود وجود دارد.

از جمله، حاصل ضرب دو ماتریس بستگی دارد به ترتیبی که آنها ضرب میشوند.

مثلاً:

$$\{X_{nk}\}\times\{P_{nk}\}\neq\{P_{nk}\}\times\{X_{nk}\}$$

این قاعده ممکن است عجیب و مشکوک بنظر آید، اما هیچگونه آزادی عملی را شامل نیست. در حقیقت درست همین قاعده است که ماتریسهارا از دیگر اندازهها متمایز میسازد. ما حق نداریم آنرا بمیل خود عوض کنیم — بله در ریاضیات هم قوانین تزلزلناپذیر وجود دارد. این قوانین به فیزیک و دیگر علوم بستگی نداشته و با زبان علامات کلیه روابط تفکرات منطقیرا در طبیعت تثبیت مینماید.

Max Born *

ضمناً از قبل معلوم نیست که تمام این ارتباطات بحقیقت خواهد پیوست.

البته ریاضی‌دانان مدتها قبل از هیزنبرک از ماتریس‌ها اطلاع داشتند و میتوانستند با آنها کار کنند. اما این برای همگان بکلی غیر عادی بود که این مباحث تعجب آور با آن خواص غیر عادیشان با چیز واقعی در جهان پدیده‌های اتمی مطابقت داشته باشند. خدمت هیزنبرگ و بورن در آن بود که آنها سد روانی را در هم شکستند و توافق بیّن خواص ماتریس‌ها و خود ویژگی‌های حرکت الکترونها در اتم‌را پیدا کردند و بدین شکل مکانیک اتمی، کوانتائی، ماتریسی جدید را پایه گذاری کردند.

اتمی — برای آنکه حرکت الکترونها در اتم‌را بیان میدارد.

کوانتائی — چونکه نقش اساسی را در این بیان مفهوم کوانتای عمل h اجرا میکند.

ماتریسی — زیرا که ماتریس، این دستگاه ریاضی برای آن لازم است.

در مکانیک نوین در برابر هریک از خصایل الکترون یعنی مختصات x، تکان p، انرژی E یک ماتریس موافق آن قرار داده میشود: $\{X_{nk}\}$، $\{P_{nk}\}$، $\{E_{nk}\}$ و برای آنها (و نه برای اعداد) معادله حرکت را که از مکانیک کلاسیک داریم مینویسیم. بعد دیگر فقط لازم است مراقبت شود که در تمام عملیات روی اندازه‌های $\{X_{nk}\}$، $\{P_{nk}\}$، $\{E_{nk}\}$ قواعد ریاضی‌را نقض نکنیم.

هیزنبرگ حتی یک چیزی هم زیادتر ثابت نمود: او روشن ساخت که ماتریس‌های مکانیکی کوانتائی مختصات $\{X_{nk}\}$ و دامنه $\{P_{nk}\}$ عموماً ماتریس نیستند، بغیر از فقط برخی از آنها که از تناسب کموتاسیونی (و یا جا بجا کردنی) تبعیت میکند:

$$\{X_{nk}\} \times \{P_{nk}\} - \{P_{nk}\} \times \{X_{nk}\} = i\hbar$$

که در آن $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ و $i = \sqrt{-1}$ میباشد.

در مکانیک نوین این تناسب جا بجا کردنی درست همان نقشی را بازی میکند که شرایط کوانتائی بوهر در مکانیک قدیم. و درست همچنانکه شرایط بوهر مدار ثابت‌را از میان مجموع تمام امکانات بر

گزید، تناسب کموتاسیونی هیزنبرگ هم از مجموعه تمام ماتریس‌ها فقط مکانیکی کوانتائی‌را انتخاب کرد.

تصادفی نیست که در هر دو صورت یعنی در شرایط کوانتائی بوهر و در معادله هیزنبرگ حضور ثابت پلانک h ضروری است. در آینده خواهیم دید که ثابت پلانک حتماً در کلیه معادلات مکانیک کوانتائی وارد میشود و با این علامت است که همیشه بدون اشتباه میتوان آنهارا از دیگر معادلات تمیز داد.

معادلاتی که هیزنبرگ پیدا کرد نه بمعادلات مکانیک و نه بمعادلات الکترومکانیک شباهتی نداشتند و از اینرو نیز بهیچ شکلی نمیتوانستند ناقض آنها باشند. بر حسب این معادلات میتوان حالت اتم‌را کاملاً مشخص دانست بشرط آنکه تمام اعداد X_{nk} یا P_{nk} یعنی ماتریس‌های $\{X_{nk}\}$ یا $\{P_{nk}\}$ معلوم باشند. ضمناً ساختمان این ماتریس‌ها طوری است که اتم در حالت تحریک نشده تشعشع نمیکند.

توجه کنید: در مباحثات ما هیچ جا از مفهوم «حرکت الکترون در اتم» استفاده نشد. چون دیگر آن مورد لزوم نبود. حرکت طبق گفته هیزنبرگ — یک تغییر محل گویچه — الکترونی بر روی یک مسیر در اطراف هسته نمیباشد.

حرکت — تغییر حالت سیستم بر حسب زمان است که با ماتریس‌های $\{X_{nk}\}$ و $\{P_{nk}\}$ بیان میشود.

مسئله پایداری اتم نیز خود بخود با مسائل خصلت حرکت الکترون‌ها در اتم منتفی میگردد. از این نقطه نظر نوین چنین بر میاید که الکترونها در اتم تحریک نشده، آرامند و از اینرو هم نباید تشعشع کنند.

تئوری هیزنبرگ باطناً تناقض نداشت، یعنی همان چیزی که طرح بوهر فاقد آن بود. در عین حال بهمان نتیجه میرسید که کوانتای بوهر بدان منجر میشد. بعلاوه سر انجام این امکان پیدا شد که بکمک آن نشان دهند که فرضیه پلانک در مورد کوانت‌های تشعشعات $E = h\nu$ ساده نبوده و نتیجه طبیعی مکانیک نوین است.

بعداً میتوان سعی کرد نتایج مکانیک هیزنبرگ را بدون فرمول بیان داشت. لکن این کار همانقدر غیر طبیعی خواهد بود که اگر بخواهیم موسیقی را با کلمات بیان داریم.

برای آنکه بژرفای مکانیک کوانتائی دست یابیم، باید ریاضیات را حلاجی کنیم، کار با ماتریس‌هارا بیاموزیم و خلاصه فیزیک را چون پیشه فرا گیریم.

در ماتریس‌ها هیچ چیز عرفانی و معمائی و یا دست نیافتنی وجود ندارد. آموختن آن آسانتر از فرا گرفتن مثلاً زبان لاتینی است. البته اینطورها هم نه که بخواهید مثلاً در اتوبوس آنرا بیاموزید. این مبحث‌را هم چون موسیقی باید بطور اختصاصی آموخت. در غیر اینصورت اثرات نامطلوب دانائی نیمبند ممکن است حتی لذتی را که هرکس از درک عمیق زیبائی نمودار ها و مفاهیم مکمل علوم بدون بکار بستن فرمول و انجام محاسبات کسب نماید در کام شما تلخ سازد.

دانشمندان فیزیک پیدایش مکانیک ماتریسی هیزنبرگ را با احساس آرامش فراوانی پذیره شدند. پائولی در ۹ ماه اکتبر سال ۱۹۲۵ نوشت: «مکانیک هیزنبرگ سرور زندگی و امید را بمن باز گرداند. اگر چه حل معماهارا بدست نمیدهد معذلک من مطمئن هستم که اکنون مجدداً میتوان به پیش رفت».

این اطمینان را بزودی خود او جامعه حقیقت پوشاند. او با تطبیق مکانیک نوین بر اتم هیدرژن بهمان فرمولی رسید که نیلس بوهر بر اساس اصول مسلم خویش بدست آورده بود. البته اکنون مشکلات جدیدی ظاهر گشته بودند، ولی این دیگر مشکلات حاصله از رشد بود نه از بن بست و نا امیدی.

سنگ زیر بنای فیزیک

مفهوم‌های اساسی فیزیک یعنی طول، زمان، جرم و بار و غیره را بدو علت نمیتوان با کلمه بصورت یکمعنائی مشخص ساخت :

اولاً این مفهوم‌ها اولیه بوده و بهیچ چیز ساده‌تری نمی انجامد، ثانیاً فیزیک علم کمیت‌هاست و بنابراین مفهوم باید بلافاصله با عددی تطبیق نماید.

لابد بخاطر دارید که قبلاً ما مفهوم «طول» را تعیین کردیم. — یک متر — و آن چنان طولی بود که بر آن ۱۶۵۰۷۶۳٫۷۳ موج بنفش طیف Kr — ۸۶ در خلاء جای گیرد (Kr — ۸۶ یکی از ایزوتپ‌های کریپتون است با عدد جرمی ۸۶). این خط طیفی که بعنوان معیار پذیرفته شده است، با عبور الکترون اتم کریپتون بین سطوح $5d$ و $2p$ آن مطابقت دارد. متر که بدین ترتیب تعیین شده است بطور تقریبی معادل یک چهل ملیونیم نصف‌النهار پاریس است که ابتدا در سال ۱۷۹۹ بعنوان متر اتالون قبول شده بود.

واحد جرم — یک کیلوگرم — معادل جرم یک میله با شکل خاص استوانه‌ای از پلاتین ایریدیومه (ارتفاع ۳۹ میلیمتری آن معادل قطر قاعده آنست) میباشد که در سال ۱۷۸۹ تهیه گردیده است. این جرم بطور تقریبی معادل جرم یک لیتر آب مقطر در ۴ درجه دمای سانتیگراد میباشد.

برای تعیین واحد زمان باید از یک نوع جریان دوره‌ای ثابتی مثلاً گردش زمین بدور آفتاب استفاده کرد. یک ثانیه عبارتست از $\frac{1}{31556925.9747}$ قسمت از یکسال حاره‌ای که معادل است با فاصله زمانی بین موقعیت‌های یکسان کره زمین نسبت به ستاره‌ها. اما مداوت سال حاره به آهستگی عوض میشود (نیم ثانیه در صد سال) علتش هم حرکت تقدیمی محور زمین و دیگر هیجانات است، بهمین علت هم مداوت سال ۱۹۰۰ در معیار بکار برده شده است و یا دقیقتر بگوئیم سالی که در ساعت ۱۲ روز ۳۱ دسامبر سال ۱۸۹۹ آغاز شد.

با گذشت زمان یقین حاصل گردید که بهتر از همه آنست که واحد زمان نیز مثل واحد طول بر اساس اندازه گیری طیف نمائی تعیین شود. زیرا که تا بحال این یکی از دقیقترین بخش های فیزیک است.

در سال ۱۹۶۷ سیزدهمین کنفرانس کل اوزان و مقادیر تعریف تازه‌ای برای ثانیه مقرر داشت که بر حسب آن یک ثانیه معادل

است با مداومت ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ دوره تابش که منطبق است با گذر (ترانزیسیون. م.) الکترون بین دو سطح فوق‌العاده نازک حالت اصلی ایزوتپ سزیم با عدد جرمی ۱۳۳ (Cs — ۱۳۳).

رفتن به استانداردهای اتمی برای طول و زمان فقط از این لحاظ اجتناب ناپذیر نبود که طیف نمائی یکی از دقیقترین بخشهای فیزیک است، بلکه مسئله در این بود که استانداردهای اتمی فوق‌العاده پایدارند، آنها نه به گرما، نه به فشار و نه حتی به بلاهای آسمانی وابستگی ندارند و این نکاتی است که در مورد معیارهائی که در ابتدا انتخاب شده بودند نمیتوان گفت. (مثلاً «متر استاندارد» در زیر سرپوش شیشه‌ای در دمای ثابت در درون اشکاف آهنی در زیر زمینی عمیق حفظ میشود که سه کلید آن در اختیار ۳ شخص با مناصب مختلف میباشد و پیشگیری های حفاظتی دیگری هم در نظر گرفته شده است). وضع معیار ثانیه از این هم بد تر است. چون در واقع اگر از منظومه شمسی بناگاه یک جسم آسمانی بپرواز در آید آنگاه دوره گردش زمین بگرد آفتاب بطور بازگشت ناپذیر تغییر میکند و در نتیجه آن مداومت ثانیه تغییر میکند. چنین چیزهائی استاندارد اتمی را تهدید نمیکند. زیرا آن متکی بر خواصی است که مثل خود اتم پایدار و تغییر ناپذیر است.

سه کمیت — متر (m)، کیلوگرم (kg) و ثانیه (s) قسمتی از سیستم واحدهای SI* را تشکیل داده و برای بیان کلیه حرکات مکانیکی کافی است. تئوری الکترومغناطیسی به اندازه‌گیری دو کمیت بنیادی دیگر احتیاج دارد: بار (شارژ. م.) e و سرعت نور c. و برای بیان پدیده‌های اتمی باید همچنین کمیت ثابت پلانک h را هم دانست.

برای تعیین دقیق مقادیر ثابت فیزیکی، در سال ۱۸۷۵ یک دفتر بین‌المللی اوزان و مقادیر تاسیس گردید که هر شش سال یک بار کنفرانس کل اوزان و مقادیررا تشکیل میدهد. در این کنگره‌ها مفصلاً کلیه شرایط انجام اندازه‌گیری‌ها بدقت مورد مطالعه قرار میگیرد،

---

* «SI» مخفف Systeme International مصوبه XI — مین کنفرانس کل اوزان و مقادیر در سال ۱۹۶۰. م.

نظیر دما، فشار، ارتفاع از سطح دریا و غیره، همچنین کلیه اجزاء دستگاه‌های اندازه‌گیری مقادیر معیاری دقیقاً بر شمرده میشود.

خود ویژگی مهم این اندازه گیری‌ها در آنست که فقط در حالات تصادفی میتوان اندازه نامعلوسی را مستقل از دیگران تعیین نمود. برای اندازه‌گیری مابقی مقادیر باید از قوانین فیزیکی استفاده شود. مثلاً اگر سرعت v ذره ثابت باشد، آنوقت میتوان آنرا با اندازه گرفتن مسافت Δx که ذره در زمان Δt پیموده است تعیین کرد:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

این مثال ساده‌ای بود برای اینکه نشان داده شود که کلیه مقادیر ثابت بنیادی در معنائی بهم مربوطند. در فیزیک بخش ویژه و تا حدی مشکل وجود دارد که وظیفه‌اش تعیین بدون تضاد تمام مجموعه این مقادیر ثابت با در نظر گرفتن کلیه مفروضات اندازه‌گیری آنها میباشد.

اما مشکل‌ترین مسئله — مسئله مرزهای مورد استعمال مفاهیم است که با چنین طرزی تعیین شده‌اند.

بسهولت میتوان فهمید که واحدهای اندازه گیری — متر، کیلوگرم و ثانیه را طوری انتخاب کرده‌اند که با اندازه‌های خود انسانِ قابل قیاس باشد و انسان براحتی بتواند آنهارا تصور کند. واقعاً هم همینطور است زیرا ۱m قد یک کودک ۵ ساله است، ۱kg وزن یک دانه نان است و ۱s یک ضربه قلب میباشد. آیا این مفاهیم هنگام اطلاق آنها بر مقادیر خیلی زیاد و یا خیلی کمی از مسافت جرم و فاصله زمانی باز هم معنای قبلی خود را حفظ خواهند کرد؟

فعلا برای این سؤالات پاسخ عمومی وجود ندارد. اما در جریانی که ما شاهد آن بودیم یقین حاصل کردیم که مفهوم اندازه بر الکترون مقدور نیست. در تئوری اتم (در آنجا که لازم آمد مفهوم «حرکت» را با مفهوم جدیدی عوض کنیم) مفهومات سابق «طول»، «جرم» و «زمان» همچنان بقوت خود باقی ماندند. این بدان معنی است که لااقل فاصله ۱۰$^{-۱۰}$m و جرم ۱۰$^{-۲۷}$kg و فاصله زمانی ۱۰$^{-۱۷}$s را هنوز میتوان بمعنی معمولی فهمید.

در اخترشناسی نیز چنین مسئله‌ای هنگام تلاش در درک فواصل

11*

بسیار زیاد تا عالم افلاکی و اجرام آنها پیش میاید. در اینجا شاید مسئله مشکل‌تر باشد تا در تئوری ذره های بنیادی. واقعاً هم هیچکس نمیتواند با خیال راحت بگوید که کلمات «یک ملیارد سال نوری» را درک میکند. ظاهر همه چیز بسیار ساده است: این مسافتی است که اشعه نور در $۱۰^{۹}$ سال طی میکند و معادل است با $۱۰^{۹} \times ۳,۱۵ \times ۱۰^{۷}s \times ۳ \times ۱۰^{۸}m/s = ۱۰^{۲۵}m$ اما حقیقتی را که در پشت این علامت مخفی است چگونه باید فهمید و یا لااقل حس کرد؟ برای مقایسه یاد آور میشویم که اشعه نور فاصله زمین تا آفتاب که $۱,۵ \times ۱۰^{۱۱}$ متر است «فقط» در ۸ دقیقه و تا ستاره α قنطروس در ۴,۳۵ سال و تا مرکز کهکشان در ۳۰ هزار سال سیپیماید. پاسکال بحق گفته بود «انسان بین دو بینهایت معلق است».

تاریخچه نخستین متر

در سالهای ۱۷۸۸ تا ۱۷۸۹ بسیاری از شهرهای فرانسه بدولت وقت مراجعه و تقاضا میکردند که یک سیستم واحد اندازه‌ها بموقع اجرا گذارده شود تا به سوء استفاده‌هائی که از این راه میشود پایان داده شود. تالیران (در آن زمان هنوز اسقف ئوتنسکی بود) این مسئله را در مجلس ملی مطرح کرد. کمیسیونی از اعضاء فرهنگستان فرانسه مرکب از بورد، لاگرانژ، لاپلاس، سونژ و کوندورسه تشکیل گردید. آنها توصیه کردند که یک قسمت از خط استوا و یا نصف‌النهار زمین که از مدتها قبل مهندس جغرافی بون پیشنهاد کرده بود، بعنوان واحد طول پذیرفته شود. ۳۰ مارس سال ۱۷۹۱ مجلس ملی مقرر داشت که یک چهل ملیونیم نصف‌النهار زمین بعنوان متر پذیرفته شود. بلافاصله مشن * در اسپانیا و دلامبر ** در فرانسه شروع کردند به اندازه‌گیری نصف‌النهار بین دونکرک و بارسلون. دوران سخت و آشفته‌ای بود. انقلاب کبیر در جریان بود و چند صباحی بیش از کیفر پادشاه نگذشته بود، در اراضی سانکولوتها که دلامبر در آنجا

Mechain *

Delambre **

کار میکرد بسیاری از برج‌های ناقوس ویران شده بود و لازم بود برج‌های چوبی ساخته شود و با کرباس سفید روی آنرا بپوشانند. اما روستائیان آن مناطق که شورش کرده بودند با رنگ سفید که علامت دوران سلطنت بود مخالف بودند. بناچار نوارهائی برنگ‌های آبی و قرمز بر کناره آنها افزود ند.

در اسپانیای مقدس و متدین که محل کار مشن بود، هر چه بخواهی برج ناقوس وجود داشت اما اشکال دیگری وجود داشت و آن این بود که علمارا که متهم به کفر گوئی بودند به این سادگی‌ها بدانجا راه نمیدادند. بعلاوه آن نواحی در معرض خطر طاعون قرار داشت و بهمین علت هم به مشن اجازه داده نمیشد آزادانه تغییر محل دهد و حتی او را مجبور کردند که تمام کاغذهایش را آغشته بسرکه سازد و خلاصه موانع و مشکلات فراوان دیگری برایش بوجود میاوردند. مشن کوفته و بیمار تقاضای باز نشستگی کرد ولی عمرش کفاف نداد و فوت شد.

دو نفر از اعضاء فرهنگستان فرانسه آراگو و بیو کارهای او را ادامه دادند، آنها شانس بیشتری داشتند: دولت که از پشتیبانی اسقف‌های بزرگ برخوردار بود کمک میکرد و حتی یکی از سرکردگان مشهور راهزنان از آنها حمایت میکرد. در پایان کار بیو کمی قبل از ورود ارتش فرانسه به اسپانیا بوطن بازگشت. آراگو بلافاصله دستگیر شد، گوئی او بر فراز ارتفاعات علاماتی گذاشته بود که بعداً ارتش فرانسه بتواند از آنها استفاده نماید. هنگامیکه آراگو در اسارت بود روز نامه‌های اسپانیا در باره او نوشته بودند: او محکوم گردید و مرگ را مردانه پذیره شد و از اینگونه صفات حضرت عیسی به او نسبت میدادند و او خود همه اینها را خوانده بود.

ایکن آراگو بزودی موفق شد به الجزیره بگریزد و خود را بکشتی که به مارسی میرفت برساند. ولی در راه کشتی بدست راهزنان دریائی اسپانیولی افتاد و آراگو مجدداً میبایست با جمعی اجامر و اوباش در زندانهای اسپانیا بسر میبرد. اما از خوشبختی او، یکی از حکمرانان افریقائی بوسیله همان کشتی هدیه‌ای عبارت از دو پلنگ افریقائی برای ناپلئون میفرستاد. حکمفرما اسپانیارا تهدید به جنگ کرد و کشتی تسلیم شد، اسرا آزاد گشتند و با همان کشتی به مارسی اعزام گردیدند،

اما بد بختانه کشتی راهش را گم کرد و در بوژی لنگر انداخت. از اینجا آراگو دوباره به الجزیره بازگشت و با گذراندن حوادث زیادی پای پیاده خود را به قبیلیه میرساند، اما مجدداً دستگیرش میکنند و باز هم در معرض خطر زندانی شدن قرار میگیرد، اما سر انجام اجازه داده میشود که بفرانسه باز گردد. شگفت انگیزتر از همه آنست که بعد از تمام این حوادث بی پایان، یادداشتهای خود را که در زیر پیراهن دوخته بود وحتی وسایل و ابزارهایش دست نخورده و سالم باقی ماندند.

استاد هنرمند لنوار بر اساس اندازه‌گیری های مشن و دلامبر نمونه عالی متر را که امروزه مشهور همگان است ساخت و بموجب قانون ۲۵ ژوئن سال ۱۸۰۰ واحد جدید طول مورد استفاده عموم قرار گرفت. بعدها دلامبر در سال ۱۸۰۶ در گذارشات خود نوشت: «از میان تمام اقدامات نیکوی انقلاب فرانسه که در خاطره ما بجای مانده است همین اقدام است که از همه کمتر برای آن پرداخت کرده‌ایم...»

فصل هفتم

لوئی دوبروی ◇ امواج ماده ◇ قیاس اپتیک – مکانیکی ◇ مکانیک موجی شردینگر

افسر مجارستانی یانوش بویائی از کشف هندسه غیر اقلیدسی در ۲۳ مین بهار زندگی خود خوشبخت و سعادتمند بود، اما تا وقتیکه هنوز نشنیده بود که در نقطه‌ای از مرز میان آسیا و اروپا نیکلای ایوانویچ لوباچوسکی همان هندسه را چند سال قبل پیدا کرده است. در اینوقت بود که زندگیش دستخوش کابوس گشت، همه در نظرش جاسوس و خبرچین می‌آمدند، آدمی خشن و نسبت بهمه شکاک و ظنین گردیده بود، همگان را متهم میکرد، حتی پدرش را که تمام عمرش را بر سر همان مسئله گذاشته بود. فارکاش بویائی نبوغ چندانی هم نداشت ولی در هر صورت از پسرش انسان‌تر و عاقل‌تر بود. هنگام مرگش به او گفت: «نا امید نشو، وقتی بهار آمد، تمام بنفشه‌ها یکباره خواهند شکفت».

در سال ۱۹۲۵ چنین بهاری در دانش اتمی فرا رسید. در عرض سه سال گلها شکفتند و حتی نخستین ثمره آن بصورت دانش نوین مکانیک کوانتائی ببار آمد. از آن وقت تا کنون تغییرات فوق‌العاده ناچیزی در آن رخ داده است، همانند جزیره آتشفشانی که به یکباره سر از اقیانوس بر آورد و صدها سال لایتغیر بر جای بماند. البته تمام اینها، آن جزیزه در اقیانوس و آن بهار، فقط برای کسانی غیر منتظره بود که بحرکات زیر زمینی توجه نداشتند و نسبت به جوانه‌های درختان با نظر بی‌اعتنا مینگریستند. در بخش نخستین ما سعی کردیم که بویژه این لرزش‌های خفیف را احساس کنیم و شاهد حرکات نامرئی آن شیره باشیم که بهار مکانیک کوانتائی از آن سر چشمه گرفت. این بهار وقتی حقیقتاً دمید که ورنر هیزنبرگ یخهای موهومات را که زیرش

اساسهای فیزیک منجمد مانده بودند در هم شکست و به مفهوم حرکت حیات تازه‌ای بخشید و مکانیک ماتریسی نوین را بوجود آورد. این نخستین نظریه پیگیر اتم بود که بیانگر پایداری آن بود، همان چیزی که دیر زمانی در جستجویش بودند. اما پس از چهار ماه (کاملاً طبق قانون بهاری!) اروین شردینگر مکانیک جدید دیگری — موجی را بوجود آورد که آنهم بخوبی بیانگر ساختمان اتم گردید، اگرچه هیچ شباهتی به مکانیک ماتریسی نداشت.

در آینده ما خواهیم دید که مکانیکهای ماتریسی و موجی هر دو فقط اشکال متفاوت نگارش مکانیک کوانتائی واحدی میباشند که دانش ساختمان اتم است. اما ابتدا ما باید بفهمیم ماهیت مکانیک موجی چیست و آن افکار ساده‌ای را که بوجود آورنده آن بوده‌اند درک کنیم.

لوئی دوبروی

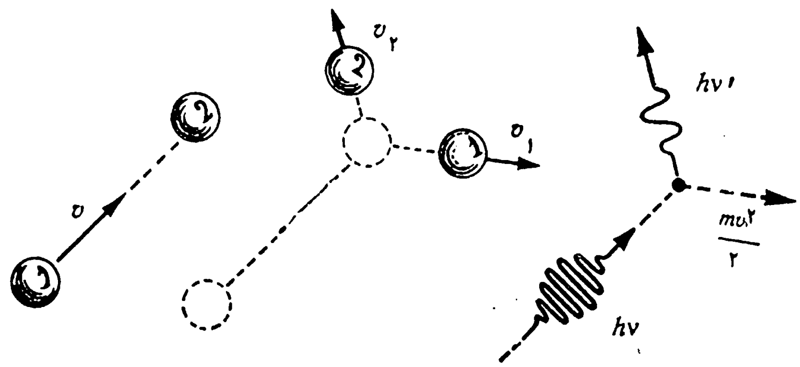
هیزنبرگ در سال ۱۹۰۱ متولد شد. وقتی او دبیرستان را بپایان رساند، میهن او آلمان تمام جهان‌را قبضه کرده بود — از روسیه زادگاه مندلیف گرفته تا انگلستان موطن رزرفورد. آلمان با فرانسه همان سرزمینی که در سال ۱۸۹۲ شاهزاده لوئی ویکتور دوبروی وارث پادشاهان و دارنده آتی جایزهٔ نوبل در آن بدنیا آمده بود می‌جنگید. در آن زمان او هنوز با فیزیک سروکاری نداشت و جنگ میکرد و فقط پس از جنگ بود که در آزمایشگاه برادر ارشدش موریس دوبروی مشغول کار شد. برادرش طیف اشعه ایکس عناصر را مطالعه میکرد و بهمین جهت هم در آزمایشگاه او با کارهای بوهر خوب آشنا بودند.

لوئی دوبروی* نیز در آن زمان همانند بسیاری دیگر سرگرم این مسئله بود که «چرا اتم پایدار است؟ و چرا الکترون در مدارهای ثابت تشعشع نمیکند؟»

نخستین اصل مسلم بوهر این مدارها را از میان کلیه مدارهای متصوره با شرط کوانتائی تمایز ساخت که طبق آن شعاع r

---

Louis de Broglie *



مدار و سرعت v و جرم m الکترون با عدد صحیح کوانتای عمل h مربوط میباشد

$$mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

دوبروی میخواست یک اساس معقولی برای این شرط بیابد، یعنی میکوشید آنرا بوسیله مفاهیم عادی‌تری بیان دارد. (یا بطوریکه اکنون معمولاً گفته میشود تلاش داشت فکر فیزیکی آنرا بفهمد).

هنگامیکه در جستجوی توضیحی برای واقعیتی نامفهوم هستند، معمولاً به قیاس پناه میبرند. دوبروی نیز در جستجوی خروج ازبن بست تناقض موجود در تجسم اتم، درست همین کار را کرد. او حدس زد که این مشکلات باید از زمره همان مشکلاتی باشد که هنگام تلاش برای درک تضاد خواص نور پیش آمده بود.

در مسئله نور کار وقتی بکلی گره خورد که آرتور کمپتون در سال ۱۹۲۳ آزمایش معروف خود را انجام داد و ثابت کرد که پراکندگی اشعه ایکس بر الکترونها اصلاً شباهتی به پراکندگی امواج دریا نداشته و بر عکس درست تصادم دو گوی بلیارد را بخاطر میآورد که یکی الکترون با جرم m و دیگری کوانتای نور با انرژی $E = h\nu$ باشد. پس از آزمایش کمپتون دیگر جای شک و شبهه باقی نماند که در طبیعت واقعاً کوانتاهای نوری وجود دارد و انرژی $E = h\nu$ آنها بطور یک به یک با طول موج نور $\lambda = \frac{c}{\nu}$ که با این کوانتها مطابق است مربوط میباشد. در سال ۱۹۲۶ بنابر پیشنهاد ج. لوئیس آنها را فوتون نامیدند.

نه دوبروی و نه معاصرین او نتوانستند توضیح دهند که کلمات «مطابقت کوانتای نور با موج نوری» را چگونه باید معنی کرد. در عین حال اساسی هم در دست نداشتند که این آزمایش را رد کنند که بر حسب آن چنین نتیجه میشد که خواص نور در یک شرایط خود را چون موج با طول λ و بسامد $\nu = \frac{c}{\lambda}$ و در شرایط دیگر بمثابه سیل ذرات ــ فوتون ها با انرژی $E = h\nu$ و تکان $p = \frac{h\nu}{c}$ جلوه‌گر میسازد.

سه چهار سال بعد همه فهمیدند که این پدیده ــ فقط جزئی از ثنویت (دوآلیسم) کلی ذرات موجی در طبیعت میباشد و در آنموقع دوبروی تازه کورمال کورمال در جستجوی راه راست بود.

اسواج ساده

دوبروی بوحدت طبیعت ایمان داشت و چون کلیه علمای بزرگ قبل از خویش اعتقادی صمیمانه و ژرف داشت. بعقیده دوبروی: در طبیعت، نه تنها اشعه نور بلکه کلیه اجسام هم باید در عین حال دارای خواص موجی و هم ذره‌ای باشند. بنابر این در طبیعت علاوه بر امواج نوری و ذرات مادی باید واقعاً کوانت نوری و موج مادی هم وجود داشته باشد.

بیان چنین مدعی ساده و نیرومندی کار آسانی نبود، شجاعت و ایمان میخواست. از آن مشکل‌تر درک آن بود، چون تنها در حیطه قدرت عقل و شعوری بود که به تفکر تجریدی خو گرفته باشد. بسیار مشکل است تصور کرد که طبیعت که محسوس حواس پنجگانه ما است اشکال نمایانی بوجود نیاورده باشد که بتواند در اینگونه تلاشها بما کمک کند. در واقع هم با کلمه «ذره» همه چیز ممکن است بخاطر شما بیاید، دانه شن، گوی بلیارد، سنگی در حال سقوط، اما شما هیچوقت امواج دریا و یا سیمی در حال نوسان را بخاطر نخواهید آورد. این برای هر آدم معمولی همانقدر شکل متضاد دارد که اتحاد آنها در یک تصور غیر طبیعی به نظر میرسد.

هر گونه تشریح درباره پیدایش تئوری نوین فیزیکی آشکارا غیر

دقیق است حتی وقتی هم که از دهان سازنده آن شنیده شود، چنین تشریحی معمولاً شامل مفاهیمی میشود که در لحظه پیدایش تئوری وجود نداشته‌اند.

مفهوم «امواج مادی» در مفکوره فیزیک‌دانان کنونی یک شکل مرکب‌را متجسم میسازد که با هیچ چیز معمولی جهان محیط اطراف خود قابل قیاس نیست. این شکل به یکباره پدیدار نمیگردد بلکه بتدریج در جریان کار با فرمول‌های مکانیک کوانتائی، در حل مسائل اتمی حاصل خواهد شد که تعریف آنها با کلمات بسیار مشکل است. واضح است که دوبروی در سال ۱۹۲۲ نمیتوانست از چنین اشکال بغرنج و مکملی استفاده نماید، از اینرو هم در افکار آنروزی به برخی جانشین‌هائی مثل: شکل موجی که در نوسان سیم بوجود میاید بر میخوریم.

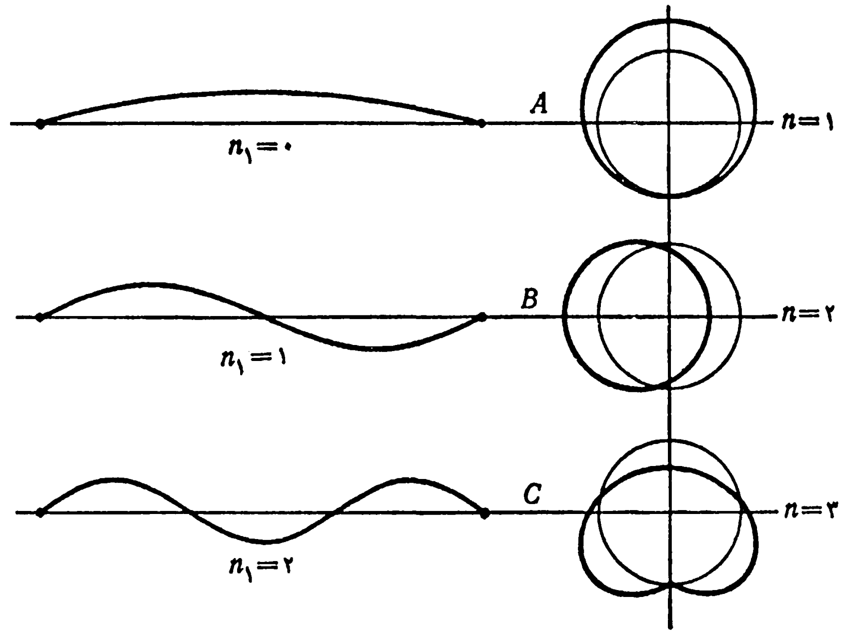
کاملاً واضح است که اگر بر سیمی ضربه‌ای وارد آوریم، شروع به پخش صوت میکند و صدای آن بستگی بطول سیم دارد. مکانیسم پدید آمدن صدا نیز کاملاً معلوم است: نوسانات سیم به هوا منتقل میشود و همین نوسانات هواست که ما حس میکنیم نه نوسانات سیم که آنهارا تولید کرده اند. اما بین این دو یک رابطه مشخص وجود دارد. مثلاً اگر نت لا از اکتاو اول بگوش برسد، در آن حال سیم با بسامد $\nu = ٤٤٠$ هرتس نوسان کرده است یعنی ٤٤٠ نوسان در ثانیه. مادام که سرعت صوت در هوا معادل $v = ٣٣٤ \mathrm{m/s}$ است پس طول این امواج صوتی معادل خواهد بود با:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = ٧٦ \ \mathrm{cm}$$

هنگام نوسان سیم ما آهنگ اصلی — یعنی چنان نوسانی‌را میشنویم که اگر سیم چون یکپارچه نوسان میکرد. اما وقتی سیم بحرکت در میاید نوسانات متمم — ابرتن * نیز پدیدار میگردد. بدین ترتیب منظره نوسانات غامض میگردد و روی سیم «گره هائی» بوجود میاید. یعنی نقاطی که طی نوسانات ثابت و بیحرکت میمانند. اما همواره یک

---

* Oberton — صدای فرعی یک پرده که بالاتر از صدای اصلی آن بگوش میرسد. م.



شرط دقیقاً رعایت میشود یعنی در طول سیم عدد صحیح نیمه طول موج $\frac{\lambda}{2}$ جای میگیرد. برای آهنگ اصلی در طول سیم درست یک نیمه موج $\frac{\lambda}{2}$ جای میگیرد. برای اولین ابرتن دو نیمه موج که بین آندو یک «گره» قرار دارد جای میگیرد و الی آخر.

دوبروی با تجسم سیم در حال نوسان تمام این نکات را در نظر آورد. بعد دیگر کار بسیار ساده بود.

حال این سیم را بصورت حلقه‌ای درآوریم و پیش خود مجسم کنیم که این مدار الکترون در اتم باشد. اکنون حرکت الکترون را با نوسانات موجی که «با الکترون تطابق داشته باشد» عوض کنیم، بعقیده دوبروی این کار عاقلانه است. بسهولت میتوان دید که وقتی سیم را بصورت حلقه در میآوریم در آن گره متمم بوجود میاید یعنی آهنگ اصلی سیم صاف تبدیل به اولین ابرتن سیم حلقوی میگردد. این نیز بنوبه خود بدان معنی است که در سیم حلقوی حد اقل میتواند یک موج کامل λ جای گیرد، نه نیمه موج $\frac{\lambda}{2}$ (همانطوریکه در سیم صاف دیدیم). بدین ترتیب حرکت الکترون فقط و فقط وقتی پایدار خواهد بود که، در طول مدار عدد صحیح n «موج الکترونی» λ جای گیرد.

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Broglie

از اینجا بسهولت شرط ذیل بدست میاید :

$$2\pi r = n\lambda$$

دوبروی این شرط را با اصل مسلم اول بوهر مقایسه کرد :

$$mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

و از اینجا «طول موج الکترون » را بدست آورد :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

همین و بس. این واقعا ساده است. ولی این همانقدر ساده است که فرمول پلانک $E = h\nu$، اصول مسلم بوهر ، قانون جاذبه عمومی نیوتن که در عین حال بسی داهیانه هستند. این اکتشافات از آنجهت ساده‌اند که ساده‌ترین مفاهیم را لازم دارند. اما در تاریخ پیشرفت روانی بشریت تعداد آنها انگشت شمار است زیرا آنها اساسی‌ترین تفکرات و ادراکات ما را تغییر میدهند. و هرگز نمیتوان فهمید که آنها چگونه صورت گرفته‌اند. این همیشه از عجایب بس شگفت‌انگیزی است که خود آفرینندگان آنها هم از توضیح آنها عاجز اند. آنها فقط بطور ساده میتوانند جداً حرفهای نیوتن را تکرار کنند که «من همیشه در اینباره فکر میکردم».

دوبروی ۳۰ سال بیشتر نداشت که فرمول خود را یافت. اما از یازده سال پیش تجسس آنرا آغاز نهاده بود یعنی از هنگامیکه برادرش موریس از بروکسل که در آنجا دبیر نخستین کنگره سولوه بود

بازگشت، این همان کنگره‌ای است که پلانک در سال ۱۹۱۱ درباره پیشرفت «فرضیه کوانت» در آنجا سخن گفت. اهمیت اکتشافات و زنده بودن خاطرات برادر بزرگ از معاشرت با فیزیک‌دانان بر جسته بقدری در برادر کوچک تاثیر کرد که حتی در میدان جنگ هم نتوانست از یاد ببرد. تفکرات شدید دائمی سر انجام منجر به ایجاد فرضیه درباره امواج مادی در سال ۱۹۲۲ گردید. اکنون دوبروی میتوانست مشخصات نوینی از مفهوم «مدار ثابت» بدهد: این چنان مداری است که عدد صحیح «موج‌الترون» λ بر آن جایگیرد.

اگر واقعاً چنین باشد، پس قضیه پایداری و استحکام اتم نمیتواند وجود داشته باشد، زیرا در حالت ثبات، الکترون بمثابه سیمی است که در خلاء بدون اصطکاک نوسان کند. چنین نوسانی خاموش نمیشود و از اینرو الکترون بدون تأثیر از خارج برای همیشه در حالت ثابت باقی خواهد ماند.

مشکل ترین چیزها — بمیان کشیدن فرضیه‌ایست. همیشه این کار یک جریان غیر منطقی است. ولی بمحض آنکه فرضیه‌ای بمیان کشیده شد، آنگاه قوانین سخت و دقیق منطقی اجازه میدهد نتایجی از آن گرفته شود. مهمترین آنها محتملاً اینست که: اگر «امواج مادی» موجودیت دارند پس باید بتوان آنهارا آشکار ساخت و اندازه گرفت. و واقعاً هم آنهارا آشکار ساختند و واقعیت آنهارا تا بدان پایه وثوق که برای فیزیک امکان دارد ثابت کردند. اما این امر پس از چهار سال جامه عمل پوشید و ما بعداً بشرح آن خواهیم پرداخت.

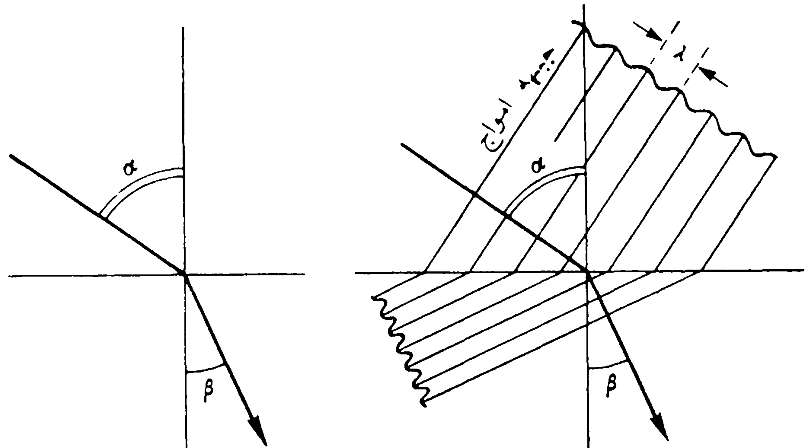
دوبروی فرمول‌های خود را در سال ۱۹۲۳ نوشت یعنی دو سال قبل از آثار هیزنبرگ و شردینگر. وضوح ایده اساس و سادگی این فرمولها، اصول مسلم بوهر را بیاد میاندازد. نظریه دوبروی نیز درست همانند اصول مسلم بوهر هنوز نظریه اتمی نبود، برای آنکه بصورت تئوری در آید لازم بود آنرا بزبان معادله نوشت. وقتی ورنر هیزنبرگ مکانیک ماتریسی را بوجود آورد او بدین وسیله ایده بوهر را بفرمولهای دقیق و معادلات جدی مبدل ساخت.

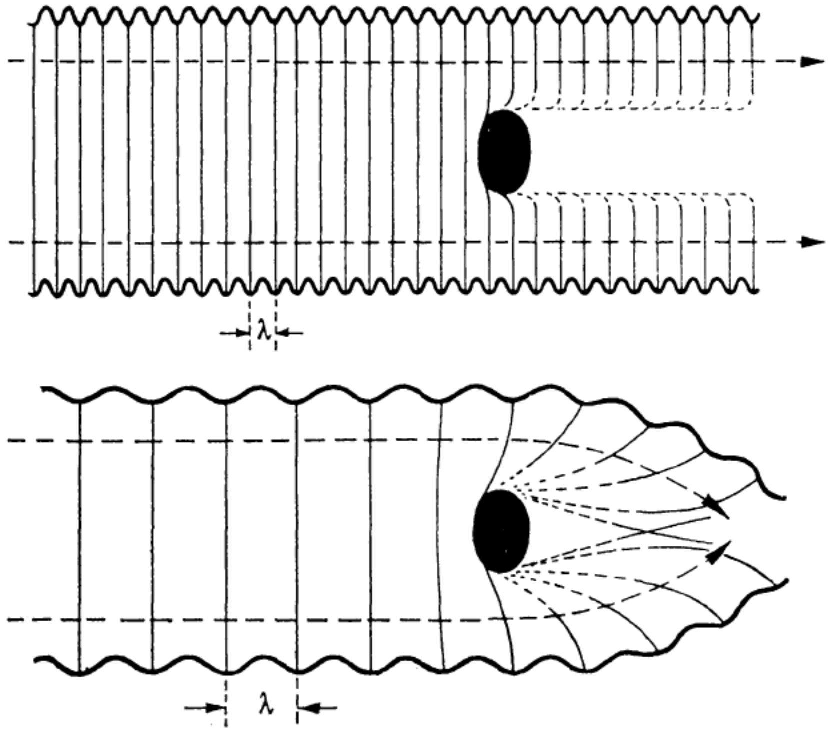
ایده دوبروی سرآغاز مکانیک موجی گردید که اروین شردینگر بوجود آورد.

اکنون باید چند واقعیت تازه را فرا گیریم. اگر چه در ابتدا چندان هم ساده بنظر نیایند ولی در هر صورت فهمیدن آنها لازم است، زیرا ما دیگر نمیخواهیم پی در پی جملات صاف و پوست کنده‌ای در باره «سر زمین اسرار آمیز میکروگیتی» تکرار کنیم که فقط فکر را مغشوش کرده و در تحقیق هم هیچ معنی واقعی نمیدهد.

ما چه از اتم و چه از کوانت سخن گوئیم مجدد در مجدد بخواص اشعه نور باز میگردیم. البته این تصادفی نیست. در واقع تقریباً تمام فیزیک معاصر بدان منجر میشود. اکنون بار دیگر بطور دقیق‌تری خواص آنرا از مد خاطر بگذرانیم. بدین منظور باید به آیزک نیوتن و مباحثه او با کریستیان هویگنس در اطراف طبیعت اشعه نور باز گردیم.

همیشه و همه وقت بر همگان معلوم بود که اشعه نور در خلاء بطور مستقیم انتشار میابد، این دانائی را انسان از همان اوان کودکی بدون احتیاج بهیچگونه علم و ابزار فیزیکی فرا میگیرد. البته پس از آنکه چند باری با گوشه و کنار میز و صندلی بر خورد کرد. در آینده این معلومات به او کمک خواهد کرد که از دیگر خطرات بگریزد و متدرجاً به حقیقت آن پی ببرد. در کتب درسی بمنظور آنکه پدیده انتشار اشعه را بیشتر قابل رویت سازند، منبع نور و چشم ناظر را با خطی بهم مربوط میسازند یعنی مسیر اشعه‌نور را ترسیم میکنند.





مسیر اشعه نور چه از لحاظ معنی و چه از لحاظ شکل بوجود آمدنش با مسیر حرکت ذره هیچ فرقی ندارد. بر همین اساس بود که در زمان نیوتن اشعه نور را بمثابه سیل ذرات فوق‌العاده کوچکی در نظر میاوردند. البته راه این «ذرات نوری» (همانند راه ذرات معمولی) میتواند منحرف گردد، مثلاً هنگام گذر از هوا به آب، در این حال نیز مفهوم مسیر بجای خود باقی خواهد ماند. این مفهوم در زندگی روزانه فواید زیادی دارد و از هر گونه سوء تفاهم جلوگیری میکند، هنگام عبور از خیابان مانع از تصادم با اتوببیل میشود، در تعیین موضع ستاره ها در آسمان و طرح ریزی دوربین عکاسی بما کمک میکند.

مردم همگام با پیشرفت فیزیک آزمایشی، طی تجربیات روزانه خود مرزهای تنگ و باریک را کنار زده با خواص نوین اشعه نور آشنا میگردند، مثلاً معلوم شد که اشعه نور هنگام انحراف در برابر «موانع بسیار کوچک» خواص عادی خود را بکلی از دست میدهند. فیزیک علم کمیت‌هاست و چنین اظهار نظرهای نا مشخص برایش خالی از معنی است. میگوئید کوچک، بسیار خوب، اما با مقایسه با چه؟

کریستیان هویگنس انتشار نور را بصورت نوسانات یک نوع «اتر نوری» پیش خود مجسم میکرد. شکلی که در اینصورت در فکر

مجسم میشود، دایره های حاصله از سقوط سنگ در آبگیر و یا امواج متوالی آب دریا را بخاطر میآورد. پس از آثار ماکسول و هرتس که ثابت کردند — نور یک حادثه استثنائی از نوسانات الکترو مغناطیسی است و بس، دیگر برای هیچکس در قانونمندی اشکال مزبور جائی برای شک و تردید باقی نماند.

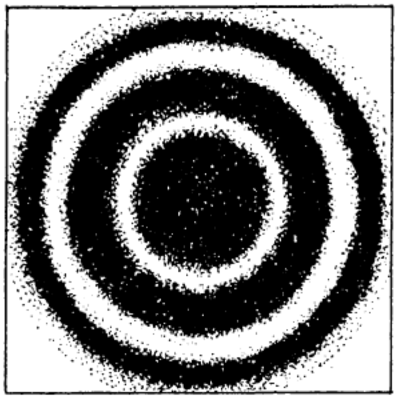
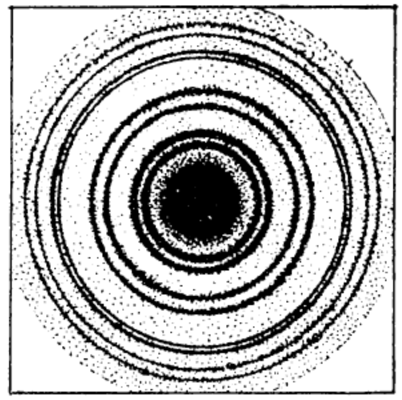
بیائید خصوصیات هر نوع جریان موجی یعنی بسامد و طول آن را بخاطر آوریم (ما در بخش اول کتاب در این باره سخن گفته‌ایم). اکنون اطلاعات ما دارای معانی مشخص گردیده است: «اشعه نور خواص عادی خود را در برخورد با مانع از دست خواهد داد چنانچه اندازه‌های این مانع با طول موج آن قابل قیاس باشد». در چنین حالی اشعه نور دیگر بحال مستقیم انتشار نیافته و پدیده پراش * بوقوع میپیوندد. علاوه بر آن امواج مجزا شروع به تاثیرات متقابله کرده، یکدیگر را تقویت و یا خاموش میسازند و یا اگر بزبان معمولی فیزیک گفته شود، شروع به تداخل میکنند. هر دو پدیده پراش و تداخل (انتر فرانس)، دست آخر منظره پراکندگی‌را روی پرده ظاهر میسازد که از نقطه نظر نیوتن فهمش بسیار مشکل است در حالیکه تئوری موجی نور کاملاً طبیعی آنرا توضیح میدهد و همین معرف پیروزی آنست.

ما با طی زمان آنچنان با خواص نور خو گرفته ایم که آنها به یک نوع معیاری برای جریان موجی بطور کلی مبدل گشته‌اند. اکنون اگر در هر جریانی ناگهان به پدیده‌های پراش و تداخل برخورد کنیم، دیگر در طبیعت موجی آنها شکی نخواهیم داشت. از اینرو نیز براستی وقتی همه نخستین تصویر پراش الکترونها را دیدند، بلا درنگ فرضیه دوبروی را در باره امواج مادی پذیرفتند.

بسه تصویر تقریباً مشابه صفحه ۱۸۹ توجه کنید، شکل سمت چپ، پراش نور قابل رویت، شکل سمت راست پراش الکترونها، و شکل پائین، امواج آب را نشان میدهد. با مشاهده آنها باور داشتن

---

* پراش یا دیفراکسیون عبارتست از پدیده انحراف امواج نوری، صوتی و الکترومغناطیسی از خط مستقیم که از قوانین نور هندسی پیروی نمیکند. م.

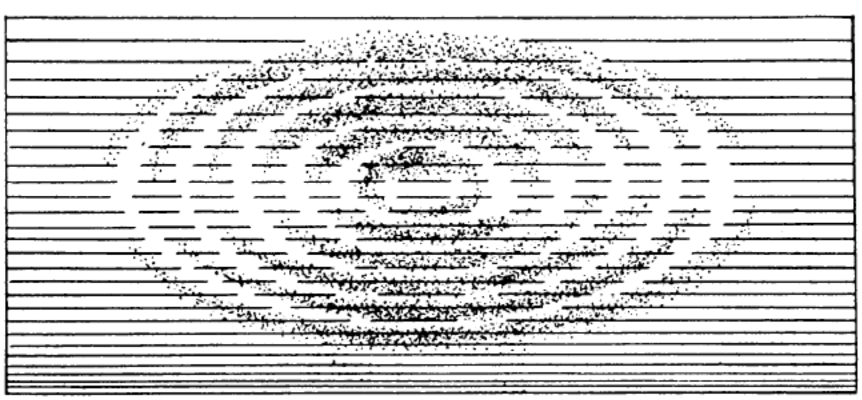
 

طبیعت موجی الکترون خیلی مشکل نخواهد بود. برای فیزیک‌دانان نسل معاصر این دیگر مسئله باور کردن یا نکردن نیست، این یک واقعیت دقیق و حتی وسیله‌ای است در امور فنی.

در بنای تئوری اپتیک موجی فقط یک عدم توافق باقی مانده بود و آن اینکه: اشعه نور را در هر حال ما چون اشعه درک میکنیم نه مثل موج. این واقعیت را از نقطه نظر اپتیک موجی چگونه باید توضیح داد؟ این مسئله را اگوستین ژان فرنل حل کرد و توضیحات او را اکنون در هر کتاب درسی فیزیک میتوان خواند.

آشکار گشت که در هنگام تداخل کلیه امواج منتشره از سر چشمه نور یکدیگر را خاموش میسازند مگر آنها که در داخل کانال باریکی بضخامت یک نیمه طول موج نور قرار دارند (ضخامت کانال نور قابل رویت تقریباً معادل است با $\frac{\lambda}{۲} \approx ۳ \times ۱۰^{-۵}\text{cm}$).

اگر ما نسبت بضخامت این «کانال نوری» بی اعتنا باشیم، آن مسیر اشعه نوری بدست خواهد آمد که همه ما در زندگی معمولی به آن عادت داریم.



حتی وسیله بوجود آوردن آنهم معلوم است: ابتدا باید کلیه رئوس اسواج را با خطوطی بهم وصل کنیم و یا بقول فیزیک دانان جبهه موج* را رسم کنیم. بعد از سنبع نور خطی عمود بر جبهه موج بکشیم، این خط همان مسیر اشعه نوری خواهد بود. اگر در نزدیکی مانع جبهه موج منحرف گردد، مسیر اشعه نیز در عین حال با آن منحرف خواهد شد یعنی اشعه نور مانع را دور زده و پراش پدید آمده است.

در سال ۱۸۳٤ ویلیام روآن هامیلتن ** (۱۸٦٥ — ۱۸۰۵) پرفسور برجسته ستاره شناس دانشگاه دوبلین با مسائل نا مفهوم برای معاصرینش سر گرم بود. او میخواست ثابت کند که نشانه ظاهری بین مسیر ذرات و مسیر حرکت اشعه نوری دارای معنائی جداً ریاضی سیبا شد.

ما حالا دیگر میدانیم که: در فیزیک مفاهیم قانون حرکت مطابقت دارد با فرسول های معادلات حرکت. آنها برای اسواج و ذرات بکلی متفاوتند: در حل یکی مسیر ذرات را محاسبه میکنیم و در حل دیگری شکل و سرعت جبهه اسواج را بدست میاوریم. همچنین میدانیم که با مفروض بودن حرکت جبهه اسواج اشعه نور ما میتوانیم مسیر اشعه نور را رسم کنیم.

هامیلتون ثابت کرد که اگر مسیر ذرات را با حرکت جبهه برخی از اسواج عوض کنیم هیچ چیز متضادی در مکانیک نکرده‌ایم. و یا دقیقتر: معادلات حرکت مکانیکی را میتوان طوری نوشت که کاملاً با معادلات اپتیک هندسی که انتشار اشعه نوری را بدون در نظر گرفتن خواص موجی آنها بیان میکند، مطابقت داشته باشد. بدینوسیله هامیلتون قیاس اپتیک — مکانیک را ثابت کرد بدان معنی که حرکت ذرات روی مسیررا میتوان چون انتشار اشعه نوری بدون در نظر گرفتن خواص موجی آن در نظر مجسم ساخت.

---

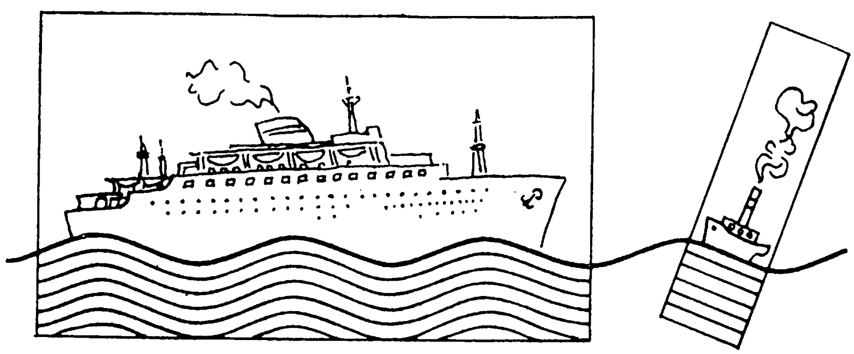
* جبهه موج — و یا باصطلاحی سطح موج عبارتست از مکان نقاط مجاور هم سیما در مسیر حرکت موج. م.

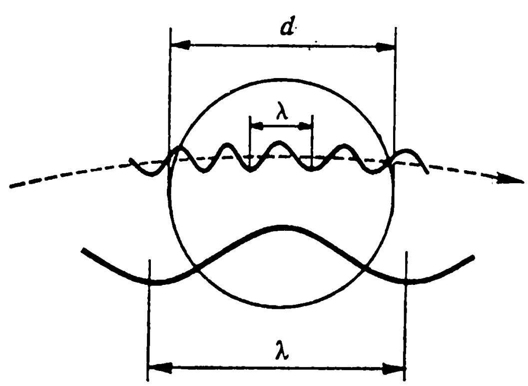
sir William Rowan Hamilton **

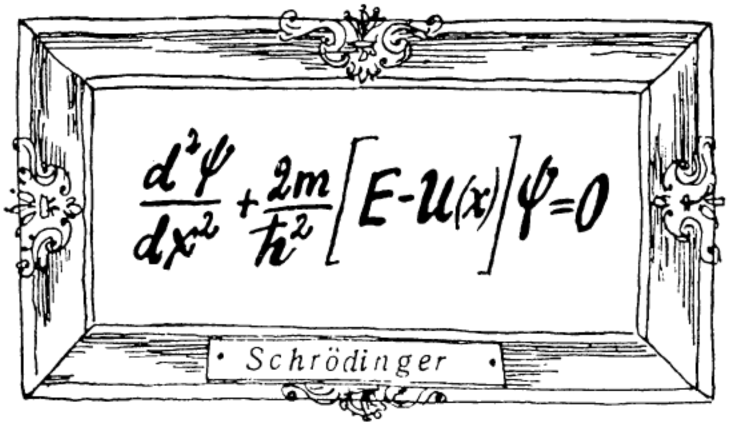
اروین شردینگر (۱۹۶۱ — ۱۸۸۷) در سال ۱۹۱۱ دانشگاه وین را به پایان رساند که در آن هنوز سنن دوپلر، فیزو، بلتسمان زنده بود و روحیه کامل دوران فیزیک کلاسیک بر آن حکمفرما بود یعنی: اساسمندی در بررسی پدیده‌ها و متانت نسبت بعلایق آنها. با اینکه در سال ۱۹۲۵ او دیگر پرفسور جوانی در دانشگاه زوریخ نبود، معذلک شور و شوق جوانی را برای درک سهمترین چیزهای فیزیک آنروزی حفظ کرده بود: «اتم چگونه ساخته شده است؟ و الکترونها در آن چگونه در جنبشند؟»

در اواخر سال ۱۹۲۵ او در مقاله ای از اینشتین جملاتی تحسین آمیز نسبت به دوبروی و فرضیه او قرائت کرد. همین خود محرکی بود برای آنکه او بفرضیه دوبروی درباره امواج مادی معتقد گردد و آنرا ترقی داده به پایان منطقی برساند (چیزی که همیشه مشکل است، نه فقط در علم).

طرز قضاوت او بسادگی قابل فهم است لااقل حالا پس از گذشت نیم قرن. او قبل از هر چیز قیاس اپتیک — مکانیکی هامیلتون را





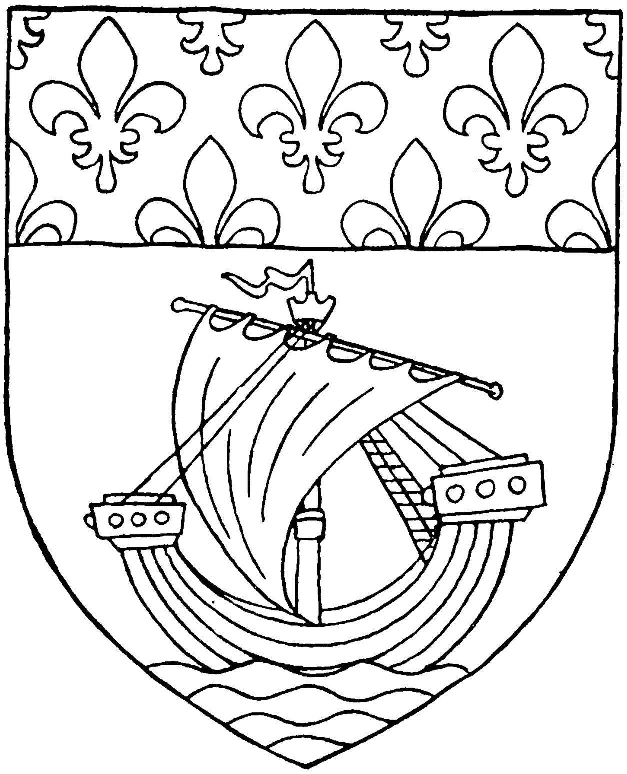


در نظر گرفت و متوجه شد که این فقط برای حیطه اپتیک هندسی ثابت شده است که در آن میتوان بخواص موجی بکلی اعتنا نکرد. شردینگر از اینهم جلوتر رفت و چنین پنداشت که قیاس اپتیک — مکانیکی در حالت اپتیک موجی نیز هم چنان محقانه است. این بدان معناست که هرگونه حرکت ذره‌ای همواره نظیر پدیده انتشار موج است.

فرضیه شردینگر نیز مثل همیشه و همانند کلیه کشفیات ژرف از هیچ طرفی تبعیت منطقی نداشت.

اما باز هم مثل هر اکتشافی نتایج منطقی بدنبال داشت.

قبل از هر چیز اگر حق با شردینگر باشد، آنگاه حرکت ذرات در آن قسمتها از فضا که اندازه‌های آن با طول موج این ذرات قابل مقایسه است، باید خواص موجی را بظهور برساند. این موضوع تا حد زیادی بحرکت الکترونها در اتم مربوط است: با مقایسه فرمول دوبروی $\left(\lambda=\frac{h}{mv}\right)$ با فرمول بوهر $\left(mvr=\frac{h}{۲\pi}\right)$ بسهولت مشاهده میشود که قطر اتم $d=\frac{\lambda}{\pi}$ تقریباً ۳ مرتبه کمتر از طول موج الکترون λ است. اما این طول — یگانه چیزی است که وقتی سخن از اندازه‌های الکترون در اتم در میان باشد، بخاطر میاوریم. اکنون دیگر آشکار میگردد که چرا تصور الکترونها بصورت ذراتی در درون اتم غیر ممکن است، زیرا در آنصورت باید اجازه داده شود که اتم از ذراتی بزرگتر از خویش تشکیل شده باشد. از اینجا بلا فاصله و کمی هم غیر منتظره اصل مسلم هیزنبرگ



که از بخش قبلی برما معلوم بود حاصل میشود که: مفهوم مسیر الکترون در اتم وجود ندارد.

واقعاً چگونه ممکن است چیز بزرگی در درون چیز کوچکی حرکت کند آنهم روی مسیری. پس آنوقت‌دیگر مسئله پایداری اتم‌هم نمیتواند وجود داشته باشد، زیراکه الکترودینامیک حرکت الکترون را در اتم تنها روی مسیر منع میکند و مسئولیت پدیده‌های حاصله از دیگر انواع حرکات را بر عهده نمیگیرد. تمام اینها دال برآنست که الکترونها در اتم وجود دارد ولی نه بشکل ذرات بلکه بصورت نوعی امواج که معنای آنرا کمی بعد خواهیم فهمید. عجالتاً یک چیز واضح است و آن اینکه: طبیعت این امواج الکترونی هر چه باشد، حرکت آنها باید از معادله موجی تبعیت کند. شردینگر این معادله را پیدا کرد. اینست آن معادله:

$$\frac{d^{۲}\psi}{dx^{۲}} + \frac{۲m}{\hbar^{۲}}[E - U(x)]\psi = ۰$$

این معادله برای کسانیکه نخستین بار به آن بر میخورند مطلقاً نا مفهوم است و فقط ممکن است انگیزه کنجکاوی گردد و یا حس اعتراض را بر انگیزد که ضمناً هیچ اساسی جدی هم ندارد.

در واقع تصویری که در صفحه چاپ شده نیز همانقدر نامفهوم است که معادله شردینگر، و حال آنکه ما آنرا بدون هیچگونه واکنش درونی میپذیریم. ما وقتی میفهمیم که این تصویری از نشان شهر پاریس که هیچوقت آنجا نبوده‌ایم و شاید هم هرگز بدانجا قدم نگذاریم، آسوده خاطر میشویم. تنها این کنجکاوی باقی میماند که بدانیم چرا آن نشان بویژه چنین نقش شده است و نه شکل دیگری. در این نشان هم مثل معادله شردینگر هر خطی و هر علامتی فکری را میرساند. در بالا، زنبق‌های سلطنتی نقش بسته که نشان هرالدیک* فرانسه در پایان سده ۵ بعد از پیروزی هلودویگ بر قبایل هون‌ها درکناره رودخانه لی میباشد (طبق روایات، جنگاوران هلودویگ، هنگام مراجعت بخانه، زره و خود خویش را با گلهای سفید زنبق زینت داده بودند). در پائین نشان، کشتی دیده میشود که از لحاظ شکل عمومی شبیه سیته** است که جزیره ایست در میان رودخانه سن که روزگارانی قبیله پاریزی در آن میزیسته است و پاریس بنام آن قبیله خوانده شده است. اما خود شکل نشان، بادبان را در نظر مجسم میسازد که یاد بود حرفه اساسی ساکنین قدیمی پاریس بوده است. همانطوریکه ملاحظه میکنید، فهمیدن نشان مشکل نبود، اگر چه در واقع به اهالی آن شهر نزدیک تر است.

حالا برویم سر معادله شردینگر درست از همین طریق. در ابتدا آنرا بعنوان علامت مکانیک کوانتانی بمثابه نشان کشور کوانت که اکنون در آن طی طریق میکنیم و سعی داریم بفهمیم چرا آن نشان بویژه چنین است. برخی از خطوط این نشان حالا دیگر برای ما معلوم مفهوم است مثل — m این جرم الکترون است، — $\hbar$ همان ثابت پلانک h است که تقسیم شده است بر 2π، و E — انرژی کامل الکترون در اتم، $U(x)$ انرژی پتانسیل آن در اتم، x — فاصله هسته از الکترون. علامات موجود در حاصلضرب دوم کمی بغرنج است یعنی $\frac{d^2}{dx^2}$، اما عجالتاً با این هیچ کاری نمیشود کرد، در ابتدا

Héraldique *
La Cité **

بهتر است آنرا همینطور بخاطر بسپاریم که علامت حساب دیفرانسیل است که بخاطر آن معادله شردینگر ساده نبوده بلکه دیفرانسیل است.

مشکل‌تر از همه آنست که بفهمیم تابع ψ (تلفظ میشود تابع پسی psi) نشان دهنده چیست. واقعاً هم چیز ساده‌ای نیست و حتی خود شردینگر هم در ابتدا چندان صحیح با معنی آن بر خورد نکرد. ما نیز کمی بعد آنرا خواهیم فهمید و عجالتاً برای ما مهم آنست که مطلب زیر را درک کنیم: تابع پسی با وجود غیر عادی بودنش به نحوی حرکت الکترون را در اتم نشان میدهد، البته به طرز دیگر غیر از آنچه ماتریس های هیزنبرگ $\{X_{nk}\}$ و $\{P_{nk}\}$ نشان میدادند. اما در هر صورت حرکت الکترونها در اتم را بهتر نشان میدهد و آنقدر بهتر که بکمک آن توانستند بسیاری از مسایل مکانیک کوانتائی را حل کنند، آنهم بطرزی ساده تر و سریعتر از آنچه بکمک ماتریس‌های هیزنبرگ ممکن بود.

فیزیک دانان خیلی زود برتری مکانیک موجی را در یافتند و از آنوقت تقریباً مکانیک ماتریسی را کنار گذاشتند.

اما این موفقیت یکباره بدست نیامد.

آزمایش کمپتون

پیش خود مجسم کنید که شما با بلوز سبز رنگی در برابر آئینه ایستاده اید و بنا گاه مشاهده میکنید که تصویر شما در آئینه بلوز قرمز رنگ به تن دارد. قبل از هر چیز محتملاً شما اول چشمان خود را خواهید مالید و اگر این هم کمک نکرد، لابد پیش دکتر خواهید

رفت. برای اینکه «اینطور نباید باشد». زیرا که اشعه سبز — سوجی است که طول آن $\lambda = ۵۰۰۰ \ \mathring{A}$ است و هنگام برخورد با سانعی مثل آئینه نمیتواند طول موج خود را عوض کند و مثلاً به رنگ سرخ ($\lambda = ۷۰۰۰ \ \mathring{A}$) مبدل شود. اتفاقاً کمپتون چنین پدیده‌ای را بررسی میکرد. او مشاهده کرد وقتی یک دسته اشعه ایکس با طول موج λ را بهدفی میتاباند، طول موج اشعه پراکنده شده λ' است که بیشتر از طول موج اشعه تابیده شده است یعنی اشعه پراکنده شده واقعاً هم «سرخ تر» از اشعه اولیه است!

این حادثه شگفت انگیز را با بخاطر آوردن فرضیه اینشتین در باره کوانتهای بوهر که او برای توضیح پدیده اثر نورابرقی* پیشنهاد کرده بود، میتوان فهمید. واقعاً هم در این حادثه بجای موج ایکس با طول λ و بسامد $\nu = \frac{c}{\lambda}$ باید سیل از ذره — کوانت با انرژی $E = h\nu$ در نظر مجسم کرد. این سیلی وقتی به الکترونهای اتم های هدف اصابت میکند، آنها را از آنجا میراند (باصرف انرژی P) و بسرعت v میرساند (مصرف انرژی اضافی $\frac{mv^۲}{۲}$) و خود با انرژی کمتری که معادل است با $E' = h\nu'$ پراکنده میشوند.

لابد باید بتوان چنین نوشت

$$h\nu = h\nu' + P + \frac{mv^۲}{۲}$$

اگر اتم کاملا کوانتای نور ($E' = ۰$) را ببلعد آنوقت پدیده معمولی اثر نورابرقی را مشاهده میکنیم و معادله کمپتون بمعادله اینشتین مبدل میگردد

$$h\nu = P + \frac{mv^۲}{۲}$$

---

* اثر نورابرقی یا اثر فوتو الکتریک — اثری است که در نتیجه انتقال یافتن انرژی از نور تابنده به الکترونهای یک جسم حاصل میشود. م.

هر دوی این آزمایشها را میتوان در محفظه ویلسون * انجام داد و راه هر الکترون رانده شده را تحت مطالعه قرار داد و بدین طریق بطور عیانی جریان برخورد کوانتای نور را با الکترون مشاهده نمود.

در اینصورت چه مانع از آن میشود که ما خود را در بلوز قرمز رنگ مشاهده کنیم؟ معلوم گردید که قوانین کوانتائی است که مانع از شکمچرانی الکترونها شده و اجازه نمیدهد که آنها هر اندازه که انرژی بخواهند ببلعند. الکترون در مدار ثابت اتم فقط قادر است چنان کوانتی را ببلعد که یا بتواند آنرا از یک حالت ثابت بدیگری بپراند و یا آنکه آنرا بکلی از اتم بیرون بجهاند (آزمایش فرانک و هرتس را بخاطر بیاورید). انرژی «کوانتاهای سبز» (طول موج آنها $\lambda = ۵{,}۵ \times ۱۰^{-۵}\,\mathrm{cm} = ۵۵۰۰\,\text{Å}$ معادل است با

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۶{,}۶۲ \times ۱۰^{-۲۷} \times ۳ \times ۱۰^{۱۰}}{۵{,}۵ \times ۱۰^{-۵}} =$$

$$= ۳{,}۶ \times ۱۰^{-۱۲}\,\mathrm{erg} \approx ۲\,\mathrm{ev}\,**$$

برای خروج الکترون از اتم این مقدار کمی است (برای اینکار ۵ مرتبه بیشتر لازم است $P \approx ۱۰\,\mathrm{ev}$). بهمین علت هم دفع فنروار (بدون از دست دادن انرژی) آنها در اتم‌های آئینه موجب میگردد آنها چندان هم «سرخ نگردند».

اشعه ایکس ($\lambda \approx ۱\,\text{Å}$) بکلی منظره دیگری را پدیدار میسازد. انرژی آنها تقریبا پنج — ده هزار مرتبه زیادتر است و از اینرو هم پدیده‌ای که بر آنها میگذرد بکلی طور دیگری است: مثلاً بهیچوجه

---

* محفظه ویلسون — دستگاهی است که در درون آن اثر و مسیر ذره‌های یون کننده بشکل خطی از قطره‌های چگالش یافته یک بخار فوق اشباع شده پدیدار میشود و میتوان داخل محوطه آنرا روشن ساخته و از مسیرها عکسبرداری نمود. م.

** ev — الکترون ولت — واحد انرژی در فیزیک هسته‌ای است. یک الکترون ولت برابر است با مقدار انرژی که یک الکترون کسب میکند وقتی که تحت اثر اختلاف پتانسیل یک ولت قرار گیرد. م.

از آئینه انعکاس نمیابند و آزادانه از آن میگذرند و در ضمن راه نیز الکترونهائی از اتمهای آئینه بر میکنند.

البته حتی جریان ساده انعکاس رنگ سبز از آئینه هم کمی پیچیده‌تر از آنست که ما اکنون تشریح کردیم. اما یک مشکل دیگر که اساسی هم میباشد وجود دارد: در منظره‌ای که ما تصویر کردیم بجای موج پیوسته نور فقط یک کوانتای نور وجود داشت، بنابراین دیگر جائی برای آزمایش فردریک، کنی پینگ، لائوئه که پراش اشعه ایکس را کشف کردند و طبیعت موجی آنهارا به اثبات رساندند، باقی نمی ماند.

این مناظر متناقض اشعه — امواج و اشعه — کوانت را چگونه باید آشتی داد؟

در بخش بعدی ما خواهیم دید که مکانیک کوانتائی چگونه از عهده حل این مسئله بر آمده است.

الکترون: ذره است یا موج؟

درست همانطوریکه ما هر روز درباره ساختمان تلفن نمی‌اندیشیم، در این باره هم فکر نمیکنیم. ما فقط از دستگاه‌هائی که الکترون در آنها «کار و فعالیت» میکند استفاده میکنیم مثل تلویزیون، دستگاه اشعه ایکس، میکروسکپ الکترونی. اما وقتی بیاندیشیم که این دستگاه ها چگونه ساخته شده‌اند، آنگاه مسئله طبیعت الکترون بلافاصله خصوصیات آکادمیکی خود را از دست میدهد.

در لامپ تلویزیون تصویر بکمک الکترونها بدست میاید که در اثر فشار $V \approx ۱۰۰۰۰$ ولت رانده شده‌اند. در این حال آنها دارای سرعت $v \approx ۵ \times ۱۰^{۹} \mathrm{cm/s}$ میباشند که فقط شش مرتبه از سرعت نور کمتر است. طول موج آنها را هم بسهولت از روی فرمول دوبروی $\lambda = \frac{h}{mv}$ میتوان بدست آورد که خواهد بود $\lambda \approx ۰{,}۱ \mathrm{\AA}$ یعنی ۱۰ مرتبه کمتر از اندازه‌های اتم. و مادام که الکترونها در تلویزیون بخط مستقیم انتشار میابند، ما آنهارا چون سیلی از ذرات تلقی میکنیم.

در میکروسکپ الکترونی الکترونها مثل موج عمل میکنند:

الکترونها را فشار صدهزار ولتی تاسرعت 10^{10}cm/s میرساند که مطابق است با طول موج ۰٫۰۵ Å . بعلاوه، این دسته الکترون از یک سیستم عدسی مغناطیسی عبور کرده درست همانطور که در میکروسکپ های معمولی اشعه نور از عدسی های بصری میگذرند. از اپتیک موجی بخوبی میدانیم که حتی در بهترین میکروسکپ‌ها، در اثر پدیده پراش نمیتوان شیئی را که ابعادش از نصف طول موج نور تابنده کمتر باشد، تشخیص داد. طول موج نور قابل رویت ۵ هزار آنگسترم است بهمین جهت در میکروسکپ‌های عادی فقط اشیائی‌را میتوان تشخیص داد که ابعادش بیش از ۲۵۰۰ Å باشد. ابعاد باکتری زیادتر از ۱۰۰۰۰ Å = 10^{-4}cm است و بهمین جهت هم در میکروسکپ عادی بخوبی میتوان آنرا دید. اما و یروس را دیگر با چنین میکروسکپی نمیتوان دید زیرا ابعاد آن ها از هزار آنگسترم هم کمتر است (مثلاً قطر ویروس گریپ فقط ۸۰۰ Å است) .

از لحاظ تئوری با میکروسکپ‌های الکترونی اشیاء با ابعاد تا ۰٫۰۲ Å را باید بتوان دید، یعنی ۵۰ مرتبه کوچکتر از اتم. آیا این بدان معنی نیست که پس ما میتوانیم اتمهای مجزا را مشاهده نمائیم؟ نه، البته که خیر. انرژی اتصال الکترون در اتم (P) معادل است تقریباً با ۱۰ الکترون ولت (انرژی که الکترون تحت تاثیر اختلاف پتانسیل ۱۰ ولت کسب میکند). اما در میکروسکپ‌های الکترونی، انرژی که الکترونها کسب میکنند تقریباً صد هزار الکترون ولت است. چنین «اشعه ای» در اولین برخورد با اتم بلافاصله آنرا در هم میریزند. (در حقیقت مشکل نیست تصور کرد که اگر بخواهیم با اسلحه به ذرات گرد و غبار تیراندازی کنیم، مسلم است که از این شیرینکاری چیزی حاصل نمیشود!). عملاً در میکروسکپهای الکترونی توانسته اند اشیائی را که ابعادشان ۵ تا ۱۰ Å باشد یعنی ۵ تا ۱۰ مرتبه بیش از اتم باشند مشاهده نمایند.

پراش الکترونها

پراش الکترون نیز نظیر بسیاری از اکتشافات فیزیکی خیلی «تصادفی» پیدا شد، اگر چه پاستور دوست داشت تکرار کند که «تصادفات فقط با مغزهای آماده سخن میگویند».

کلینتون ژوزف دویسن* (۱۹۵۸ — ۱۸۸۱) با همکارش کانسمی در سال ۱۹۲۲ بنابر سفارش شرکت امریکائی «بل — تلفن» روی انعکاس یک دسته الکترون از سطح فلز کار میکرد که یک مرتبه متوجه چیز خلاف قاعده‌ای شد. در سال ۱۹۲۵ والتر الزاسر یکی از شاگردان ماکس بورن پس از آثار دوبروی فکر کرد که این خلاف قاعده‌ها را میتوان با امواج الکترونی توضیح داد. دویسن این یادداشت را خواند ولی وقعی بدان نگذاشت. او در سال ۱۹۲۶ به اروپا سفر کرد و در گوتینگن نمودارهای خود را به ماکس بورن و جیمس فرانک و هم چنین در آکسفورد به دوگلاس هارتری نشان داد. همه آنها متفق القول وجود امواج دوبروی را در آنها تصدیق کردند. او هنگام بازگشت در کشتی اقیانوس پیما با آثار شردینگر آشنا شد و بلافاصله پس از ورود به امریکا با همکاری لستر آلبرت جرمر (متولد ۱۸۹۶) فرضیه دوبروی را بطور تجربی ثابت کرد.

ج. پ. تمسون** از جهت دیگری بمسئله توجه کرد. او از همان آغاز علاقه فراوانی نسبت بفرضیه دوبروی ابراز میداشت و بزودی پس از ملاقات با دویسن در انگلستان، شروع به تفکر برای پیدا کردن وسیله‌ای برای اثبات تجربی آن نمود. در انگلستان پس از آثار کروکس و ج. ج. تمسون تجربیات با اشعه کاتدی بصورت عنصر قطعی و معمولی آموزش و پرورش در آمده بود. شاید هم بدین علت ج. پ. تمسون قبل از هر چیز فکر کرد که آیا نمیتوان آنهارا برای تجربیات نوین ساز گار ساخت؟ تقریباً بلافاصله در ابردین دستگاه آماده‌ای یافت که دانشجوئی بنام آلکساندر رید با آن کار میکرد (رید بزودی در اثر حادثه اتومبیل در سن ۲۲ سالگی جانسپرد). بعد از دو ماه او بوسیله این دستگاه تصویری بسیار عالی از پراش الکترونها بدست آورد که دقیقا پراش اشعه ایکس را بخاطر میاورد. این امری طبیعی بود زیرا که در این تجربیات الکترونها با پتانسیل ۱۵۰ ولت تسریع میگردیدند (فشار معمولی شبکه شهری).

Clinton Joseph Davisson *

G. P. Thomson **

طول موج چنین الکترونهائی تقریباً معادل بود با $Å = ۱۰^{-۸}cm$ یعنی با طول موج اشعه ایکس و ابعاد اتم قابل قیاس بود.

یادداشت کوتاه: جرج پاجت تمسون پسر جی — جی مشهور ژوزف جون تمسون است که در اواخر قرن جاری ثابت کرد که الکترون عبارت از ذره است. این دیگر ریشخند سرنوشت بود که پس از گذشت ۳۰ سال پسرش ثابت کرد که الکترون موج است. و هر دو هم محق بودند و هر دو سزاوار جایزه نوبل بمناسبت خدماتشان گردیدند.

حرف معمائی ψ

شردینگر حرف یونانی ψ («پسی — psi») را بعنوان علامت تابع موجی بطور کم و بیش تصادفی انتخاب کرد. اما این علامت برای بسیاری یک نشانه نامفهوم بودن مکانیک کوانتائی گردید.

فصل هشتم

ثنویت موجی — ذره‌ای ◇ تناسب عدم قطعیت های هیزنبرگ ◇ اصل متممیت *

در آغاز سالهای ۲۰ ماکس بورن و جیمس فرانک از فیزیک دانان و داوید گیلبرت از ریاضی دانان در گتینگن «سمینار در باره ماده» را تشکیل دادند. بویژه در همین جا بود که در سال ۱۹۲٤ مدتها قبل از آثار هیزنبرگ و شردینگر برای نخستین مرتبه اصطلاح «مکانیک کوانتائی» بکار برده شد. دانشمندان معروف آن دوران و جوانانی که بعدها شهرت یافتند، در آن شرکت میجستند. تقریباً در هر جلسه سمینار گیلبرت با این جمله آغاز سخن میکرد: «بدین ترتیب آقایان، من نیز همانند شما میخواهم دقیقاً بمن بگویند: اتم چیست؟»

آنچه اکنون ما از اتم میدانیم بمراتب بیش از آنست که شرکت کنندگان آن زمان سمینار میدانستند، اما با همه این، برای پاسخگوئی بسؤال گیلبرت آماده نیستیم. مسئله در اینست که، تا بحال ما واقعیات بسیار زیادی را دانسته‌ایم، اما هنوز مفاهیم ما کافی نیست که این واقعیات را بطور صحیح تشریح کرده توضیح دهیم.

حتی امروز پس از گذشت سالها در پرتو نیلس‌بوهر ما با شنیدن کلمه «اتم» خواه نا خواه یک منظومه شمسی کوچکی را تجسم میکنیم که مرکب از هسته و الکترون‌ها است. تنها بعداً است که خود را بزور اراده وادار میکنیم بخاطر آوریم که خواص موجی نیز دارد. اکنون نیز چون گذشته هر دو نظریه «الکترون — موج» و

---

*اصل متممیت — مفهومی است که در مکانیک کوانتائی توسط بوهر وارد شده است. م.

«الکترون — ذره» بطور مستقل در فکر ما وجود دارند و بلا اراده سعی داریم خود را از یکی از آنها خلاص کنیم. «الکترون یا موج »؟ در سالهای ۲۰ فیزیک دانان پیوسته به این سؤال باز میگشتند، چون همانند همه مردم مشتاق صراحت بودند.

در آغاز سال ۱۹۲۶ در فیزیک اتمی وضع جالبی پیش آمد، بیکباره دو مکانیک کوانتائی کاملاً از هم جدا و مستقل بوجود آمد که قضایای مبداء شان بکلی متفاوت بود. هیزنبرگ بدنبال بوهر مطمئن بود که الکترون — ذره است و معادله‌های ماتریسی خود را هم بر اساس همین اعتقاد نوشت. اما شردینگر بر اساس اعتقادی که مشترکا با دوبروی به خواص موجی الکترون داشت موفق شد معادله دیفرانسیل خود را استخراج کند.

هیزنبرگ خواهان آن بود که در معادله فقط آن اندازه‌ها که مستقیماً میتوان با تجربه اندازه گرفت قرار داده شود مثل بسامد خطوط طیفی و شدت آنها. بر این اساس نیز مفهوم «مسیر الکترون در اتم» را بعنوان اندازه ای که اصولاً قابل رویت نیست، از تئوری حذف کرد. اگرچه شردینگر نیز از مفهوم مسیر استفاده نکرده بود، ولی او معادله خود را برای تابع ψ نوشته بود که باز هم قابل اندازه گیری نبود و معنی آن حتی برای خود او نیز هنوز روشن نبود.

آزمایش که در هر مباحثه‌ای تصمیم آخری با آنست، از همان اول بطور قطعی طرف مکانیک ماتریسی را گرفت. تقسیم نا پذیری بار الکتریکی را در حقیقت فارادی پیدا کرد و آزمایشات بعدی کروکس و تمسون آنرا جداً تایید کردند که چنین خواصی‌را فقط ذرات میتوانند دارا باشند. آزمایشات سیلیکن و تصاویری که از اثرات الکترونها در محفظه ویلسن بدست آمد، همه آخرین شک و تردیدها را در این مورد بر طرف کرد.

لکن اندیشه‌ها درباره الکترون — ذره جداً با واقعیت ثبات شگفت انگیز اتم مغایرت داشت. ما بارها گوشزد کرده‌ایم که اتم ستاره‌ای پایدار نیست. بوهر درست برای آنکه پایداری اتم‌را توضیح داده و در عین حال تصورات در باره الکترون — ذره محفوظ بماند اصول مسلم خود را اندیشید.

دوبروی و شردینگر از راه دیگری رفتند و نشان دادند که

پایداری اتم را با قبول اینکه الکترون موج است نه ذره، طبیعی‌تر میتوان توضیح داد. این فرضیه را بزودی آزمایشات مستقیم دویسن، جرمر، و ج. پ. تمسون با پیدا کردن قابلیت پراش در الکترون مورد تایید قرار دادند.

معمول است که آزمایش را باور داشته و قبول میکنند. اما دو آزمایش‌را که بکلی ناقض یکدیگرند چگونه میتوان باور داشت؟ وضعی که پیش آمده بود بقدری غیرعادی بود که ابتدا هیچکس در یگانگی دو مکانیک مشکوک نشد و بهمین جهت هم همگی سعی داشتند حقیقی بودن یکی و دروغین بودن آن دیگری را بر ملاء سازند. بین هواداران این دو تئوری مباحثه و مجادله شدیدی در گرفت: یک دسته از حق اولویت مکانیک ماتریسی دفاع میکردند و دسته دیگر سادگی ریاضی مکانیک موجی را برتر میشمردند. بازهم شردینگر بود که در اوایل سال ۱۹۲۷ به این مباحثات خاتمه داد و ثابت کرد که هر دو مکانیک هم‌ارزهای ریاضی میباشند. برای هر فیزیک‌دانی این بدان معنی بود که آنها در عین حال هم‌ارزهای فیزیکی هم هستند، یعنی در برابر آنان مکانیک یگانه‌ای که همان مکانیک اتمی باشد قرار داشت. منتها بدو شکل مختلف نوشته شده است. بعلاوه همچنین بدان معنی بود که فرضهای اولیه هر دو مکانیک صحیح است، خواه تصور مکانیک ماتریسی در باره الکترون — ذره و خواه تصور مکانیک موجی درباره الکترون — موج.

ثنویت (دوآلیسم) ذره‌ای — موجی

هر قدر دانشمندان اطلاعات بیشتری از اتم حاصل میکردند، همانقدر هم از قاطعیت سؤالاتشان به طبیعت کاسته میشد. آنها در دوران پلانک و اینشتین میخواستند بدانند که: «اشعه نور چیست: موج یا سیل ذرات کوانت است؟». پس از آثار دو بروی باز همچنان سعی داشتند روشن کنند که: «الکترون — چیست، موج یا ذره است؟». سر انجام بتدریج و با زحمت زیادی این فکر ساده قوت گرفت که: «برای چه یا؟ چرا باید این خواص — خاصیت موجی و خاصیت ذره‌ای را از هم جدا کرد؟». پس از تفکرات هوشمندانه معلوم شد که هیچ

اساس منطقی برای یکی از دو شق «یا — یا» وجود ندارد. یگانه انگیزه‌ای که موجب شد بازهم از آن دست نکشند، همان لختی تفکر بود که ما همیشه سعی داریم واقعیات نوین‌را با همان مفاهیم و اشکال کهنه بفهمیم و دریابیم.

یک اشکال دیگری هم وجود دارد و آنهم روانی است: ما در زندگی روزمره عادت کرده‌ایم که اشیاء هر چه کوچکترند ساده‌ترند، و کل همیشه از اجزاء ساده تشکیل میشود. وقتی دمکریتوس کنار دریا نشسته بود و سیب خود را تقسیم میکرد، ممکن است او اتم را یکطوری پیش خود تصور میکرده است ولی گمان نمیرود که بفکرش خطور میکرده است که آن باید چیزی پیچیده‌تر و مشکل‌تر از خود سیب باشد، واقعاً هم همینطور است. البته این هم ممکن است که گاهی یک خاصیتی در جزء کوچک آشکار باشد ولی در کل اصلا بنظر نیاید. درست همینطور است هنگامیکه ما جسمی را خورد میکنیم (که بر حسب عادت ما آنرا مرکب از اجزاء میدانیم) در آن خواص تازه‌ای، موجی پدیدار نمیشود بلکه روشن میگردند. یعنی این خواص در آن همواره وجود داشته است فقط ما از آن اطلاعی نداشته‌ایم.

با پدیده‌هائی از این نوع ما زیاد تصادف میکنیم ولی کمتر متوجه آن میشویم. گوی بلیارد و کره ارض هر دو کروی هستند و از این لحاظ بهم شباهت دارند. لکن چه رنج و عذابها که متحمل گشتند تا آنکه زمین برای همگان بمثابه گوئی گردید. البته انحناء گوی بلیارد واضح و معلوم بود حتی برای پدران شکنجه‌گر کلیسا. اما تمام مطلب در تناسب پدیده‌ها و مشاهدات است. زمین درست همانند هر یک از الکترونهای آن دارای خواص موجی است. در صورتیکه اگر بکوشیم حرکت آنرا برحسب معادله شردینگر توضیح دهیم آنوقت با درنظر گرفتن جرم زمین $۵ \times ۱۰^{۲۷}g$ و سرعتی که با آن بدور خورشید میچرخد $۳ \times ۱۰^{۶} cm/s$ باید طول موج دوبروی این «ذره» را معادل $۴ \times ۱۰^{-۶۱} cm$ بنویسیم که آنقدر کوچک است که حتی به تصور هم نمی‌آید.

لکن ما تنها بر این اساس نمیتوانیم بگوئیم که زمین دارای خواص موجی نیست. همچنانکه با خط‌کش و پرگار نمیتوان انحناء زمین را اندازه گرفت اگر چه زمین گرد است.

نظیر چنین مثالهائی فراوان میتوان آورد و هر یک به نحوی به درک نتایج نهائی تفکرات درباره «موج — ذره» کمک میکند.

مسئله‌ای تحت عنوان «موج یا ذره» وجود ندارد، اتم موجود در عین حال «هم موج و هم ذره است». بعلاوه هر جسمی در طبیعت در عین حال هم دارای خواص موجی و هم ذره‌ای میباشد و این خواص فقط تظاهرات متفاوت یگانه ثنویت ذره‌ای — موجی هستند.

حتی در سال ۱۹۲٤ بوهر، کرامرس، سلتر به این فکر رسیدند. آنها در آثار مشترک خود با صراحت اعلام داشتند که، خصوصیت موجی انتشار نور از یکسو و جذب و انتشار آن توسط کوانت از سوی دیگر چنان فاکت‌های آزمایشی است که جا دارد اساس هرگونه تئوری اتمی شمرده شود که جستجوی هیچگونه توضیحات را لازم ندارد.

یگانگی غیرعادی خاصیت «موجی — ذره‌ای » در فرمول‌های پلانک $(E = h\nu)$ و دوبروی $\left(\lambda = \frac{h}{mv}\right)$ منعکس است. انرژی E و جرم m از خصوصیات ذره بوده و بسامد ν و طول موج λ — از علائم جریان موجی است. یگانه علتی که موجب میشود که ما در زندگی روزمره خود متوجه این ثنویت نشویم همانا کوچکی ثابت پلانک، $h = ٦{,}٦٢٦١٨٩ \times ١٠^{-٢٧} \text{erg} \times \text{s}$ است. حتی اگر این وضع تصادفی هم باشد، معذلک باید آنرا بحساب آورد.

اگر ما در جهانی زندگی میکردیم که میزان‌های عادی ما قابل قیاس با ثابت پلانک بود، آنوقت تصورات ما از آن جهان با تصورات کنونی ما بکلی فرق میداشت. مثلاً برای ما مشکل میبود بنا و ساختمانی را با اشکال مقطعی و یا لکوموتیوی ساکت و آرام بر جای ایستاده تصور بکنیم. بعلاوه در آن جهان اصلاً برنامه حرکت قطار راه آهن نمیتوانست وجود خارجی داشته باشد، در آن نمیتوان خط سیری را کشید، فقط میتوان ایستگاه‌های مبداء و مقصد قطارها را یادداشت کرد. واضح است که چنین جهانی فرضی میباشد زیرا ما نمیتوانیم مقدار ثابت پلانک را بمیل خود تغییر دهیم، آن همواره بدون تغییر و همانطور بسیار کوچک خواهد ماند. اما اتم‌ها هم کوچکند بطوریکه ثابت پلانک با آنها قابل مقایسه است. حالا ما وجود واقعی این جهان را «برای آنها» باید بفهمیم، درست همانطوریکه گالیور سرانجام با خلق و خوی کوتوله‌ها عادت کرد.

تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ

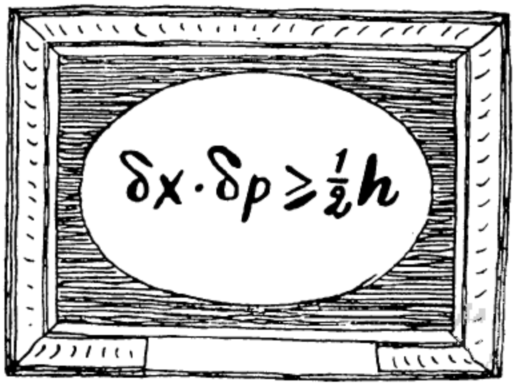
فرض کنیم ما آنقدر به نظریه عدم‌قطعیت خواص «سوجی — ذره‌ای» دل بسته باشیم که اکنون میخواهیم دست آوردهای خود را بزبان دقیق فرمول بنویسیم. این فرمول‌ها باید بتوانند تناست بین اعدادی که با مفاهیم «موج» و «ذره» تطابق داشته باشند بر قرار دارند. در مکانیک کلاسیک این مفاهیم از هم کاملاً مجزا میگردد و به پدیده‌های طبیعی کاملاً متفاوتی تعلق دارند. در مکانیک کوانتائی ثنویت ذره‌ای — موجی ما را نیازمند آن میسازد که از هر دو مفهوم یکزمان استفاده کرده و برای یک شیٔ واحد بکارشان ببریم. این اقدام لازم، همینطور مفت و مجانی تمام نمیشود، بلکه برای آن باید بهای گزافی بپردازیم.

این موضوع وقتی کاملاً روشن شد که در سال ۱۹۲۷ ورنر هیزنبرگ حدس زد که این دو مفهوم را یعنی هم «ذره» و هم «موج» را لااقل در وجود اتم بخوبی میتوان بکا ر برد، اما تعیین جدی آنها فقط جداگانه امکان دارد.

در فیزیک کلمات «تعیین مفهوم» بدان معناست که «وسیله اندازه گیری اندازه‌هائی که با آن مفهوم مطابقت دارند نشان داده شود».

هیزنبرگ تایید کرد که: نمیتوان در عین حال و بطور دقیق مختصات x و تکان p اتم‌را اندازه گرفت. طبق محاسبه فرمول دوبروی $\lambda = \frac{h}{p}$ است و این بدان معنی است که: نمیتوان حالت x سوژه اتمی و طول موج آن λ را در عین حال و با دقت تعیین کرد. پس وقتی مفهوم‌های «موج» و «ذره» تواماً در فیزیک اتمی بکار برده شوند، دارای معانی محدودی خواهند بود. علاوه بر آن هیزنبرگ حدود عددی این محدودیت‌ها را بدست آورد. او ثابت کرد که اگر موقعیت x و تکان p ذره اتمی با میزان اشتباه δx و δp را بدانیم، آنوقت ما نمیتوانیم این مقادیر را تا بینهایت مشخص سازیم، بلکه فقط تا آن زمان که نامساوی تناسب عدم‌قطعیت‌ها هنوز عملی است:

$$\delta x \times \delta p \geqslant \frac{۱}{۲} h$$



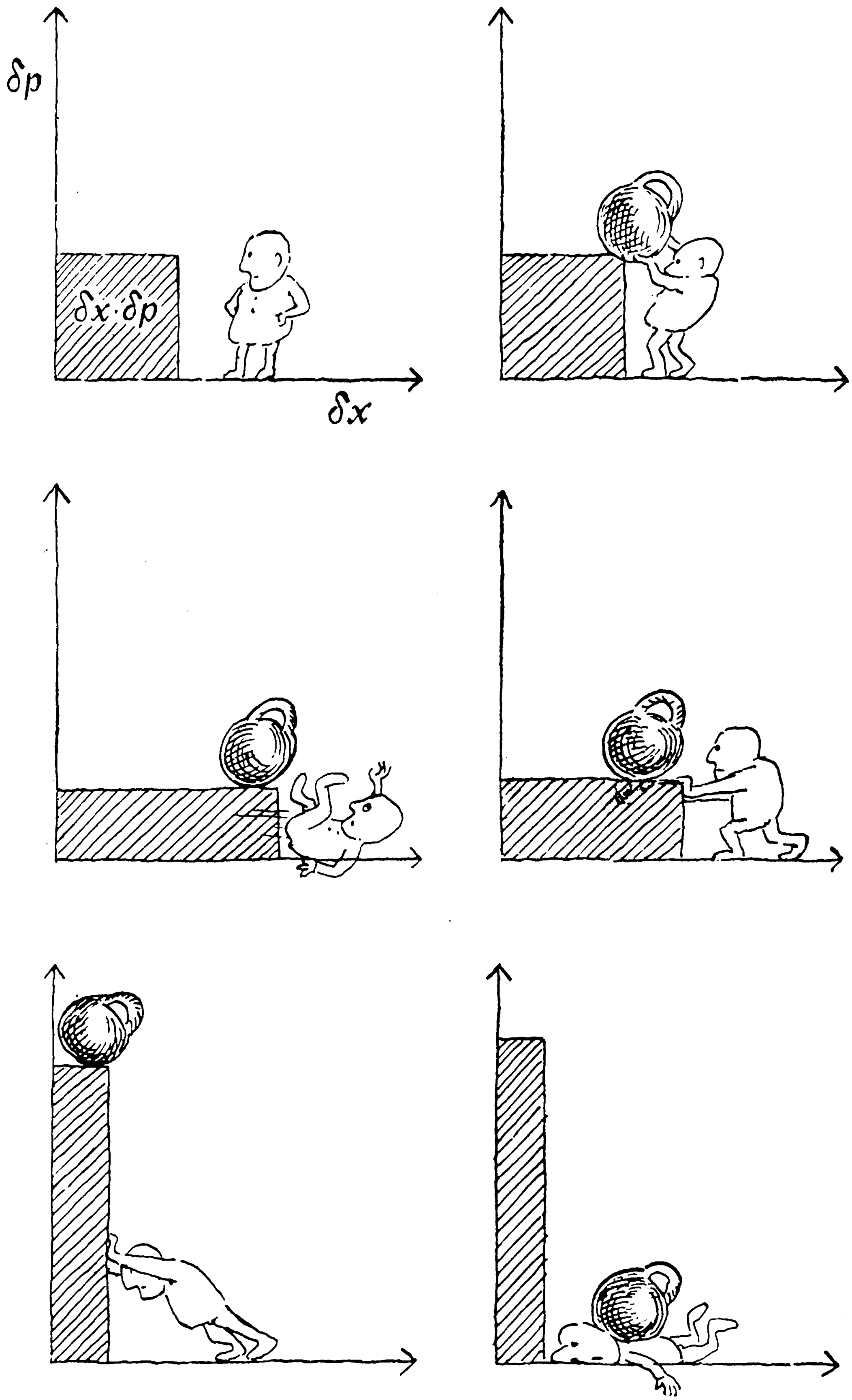
این حد اگر چه کوچک است اما موجود بوده و بنیادی میباشد.

تناسب عدم‌قطعیت‌ها یک قانون جدی طبیعت است که بهیچوجه با عدم تکامل دستگاه‌های ما مربوط نیست. این مؤید آنست که تعیین در آن واحد هم مختصات و هم تکان ذرات دقیقتر از آنچه تا مساوی مزبور میدهد ممکن نیست — اصولاً ممکن نیست.

ممکن نیست — درست همانطوریکه ممکن نیست بر سرعت نور سبقت گرفت و یا بحرارت صفر مطلق رسید. ممکن نیست — همانطوریکه ممکن نیست موی سر خود را گرفت و خودرا از جای بلند کرد و یا دیروز را باز گرداند. در اینجا اتکاء بر علم قدرقدرت بیمورد است، زیرا آن توانائی نقض قوانین طبیعت را ندارد، زیرا آن فقط قادر است آنها را کشف کند، بفهمد و مورد استفاده قرار دهد.

شاید این تا اندازه‌ای بنظر عجیب برسد، زیرا ما به پر اقتداری علم واینکه «ناشدنی» از فرهنگ واژه‌های آن حذف شده است عادت کرده‌ایم. این البته بسیار عالی است، اما نباید فراموش کرد که بلند پایه‌ترین موفقیت‌های هر علمی بویژه در لحظه استقرار چنین ممنوعیت‌هائی با اشتراک کلمه «ناشدنی» بدست میآید. روزگارانی گفتند: «ساختن محرک ابدی ناشدنی است» از اینجا ترمودینامیک پا بعرصه وجود گذاشت. بمحض آنکه حدس زدند که «سبقت گرفتن بر سرعت نور نا ممکن است»، تئوری نسبیت زائیده شد. و فقط آنگاه که فهمیدند خواص مختلف سوژه‌های اتمی را نمیتوان توأماً و با دقت دلخواه اندازه گرفت، مکانیک کوانتائی بطور قطعی تشکیل گردید.

در نخستین آشنائی با تناسب عدم‌قطعیت‌ها یک مقاومت غیر ارادی ظهور مییابد که «چنین چیزی غیر ممکن است!». هیزنبرگ علت


δp
δx·δp
δx

آنرا توضیح داد و مفهوم مراقبت یا مشاهده را که فیزیک دانان کلاسیک ایده‌آلیزه کرده بودند بدور انداخت. او ثابت کرد که در مورد مفهوم مراقبت در مکانیک اتمی نیز باید مانند مفهوم حرکت بکلی تجدید نظر شود.

انسان قسمت اعظم دانائی خود را از جهان بکمک حس بینائی کسب میکند. این خود ویژگی ادراک انسان همه جا تعیین کننده سیستم معرفت او بوده و تقریباً در همه کس کلمه «مشاهده» انسانی‌را در خاطر مجسم میسازد که با دقت مشغول نگاه کردن است. وقتی شما به هم صحبت خود نگاه میکنید، اطمینان دارید که از نگاه شما موئی هم از سر او کم نخواهد شد، حتی اگر شما خیلی هم خیره خیره بنگرید و باصطلاح «نگاهی سخت» هم داشته باشید. در حقیقت مفهوم مشاهده در مکانیک کلاسیک درست بر همین اطمینان استوار شده بود. مکانیک کلاسیک از ستاره‌شناسی جوانه زده است و چون هیچکس شکی ندارد که در اثر مشاهده و دیده‌بانی ستارگان تاثیری روی آنها نخواهیم گذاشت، آنگاه همین‌را بدون سروصدا برای کلیه دیگر مشاهدات پذیرفتند.

مفاهیم «پدیده» «اندازه گیری» و «مشاهده» رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند، اگر چه تطابقی ندارند. پیشینیان پدیده را مشاهده میکردند و روش آنها در آموزش طبیعت هم در همین کار بود. از مشاهدات خود سپس بکمک دید عقلانی خالص به نتیجه گیری میپرداختند. بنظر میاید که از همان زمان این اطمینان ریشه گرفته است که پدیده‌ها بدون وابستگی بمشاهدات وجود دارند.

ما بکرات تفاوت اصلی فیزیک کنونی‌را از قدیمی یادآور شده‌ایم که در آن دید عقلانی با آزمایش عوض گردید. فیزیک معاصر منکر این نیست که پدیده های طبیعی بدون وابستگی بمشاهدات وجود دارند (و البته بدون وابستگی به تفکرات ما هم). اما تاکید میکند که: پدیده فقط وقتی میتواند سوژه مشاهده قرار گیرد که ما وسیله اندازه گیری خواص آنرا دقیقاً نشان دهیم. در فیزیک مفاهیم «اندازه گیری» و «مشاهده» جدائی‌ناپذیرند.

هر گونه اندازه گیری تاثیر متقابله دستگاه و سوژه مورد مطالعه ما میباشد. و هر گونه تاثیر متقابله‌ای حالت ابتدائی دستگاه و سوژه

را بر هم میزند بطوریکه اطلاعات بدست آمده از پدیده در اثر دخالت دستگاه تحریف شده بدست ما میرسد. فیزیک کلاسیک معتقد بود که نظایر چنین تحریفاتی را میتوان در نظر گرفت و از روی نتایج اندازه گیری حالت «حقیقی» سوژه را بدون وابستگی به اندازه گیری مشخص ساخت. هیزنبرگ نشان داد که: چنین تصوری چیزی جز گمراهی نیست: در فیزیک اتمی «پدیده» و «مشاهده» جدائی نا پذیرند. در حقیقت «مشاهده» نیز پدیده است و چیز سادهای هم نیست.

در مکانیک کوانتائی چنین مدعائی و بسیاری نظایر آن غیر عادی بوده و موجب اعتراضات غیر ارادی میگردد. اما با همه این میکوشیم آنرا بفهمیم و یا لااقل احساس کنیم.

تجربه زندگی روزمره مؤید آنست که هر چه موضوع و سوژه مورد مطالعه کوچکتر باشد آسان‌تر حالت آن درهم ریخته میشود. ما در طبیعت از سوژه‌های اتمی — یعنی اتم و الکترون چیزی کوچکتر نمیشناسیم. بزور اراده خود هم که نمیتوانیم خواص آنها را معین سازیم. سر انجام مجبوریم خواص سوژه‌های اتمی‌را بکمک خود اتم‌ها اندازه‌گیری کنیم. در چنین حالتی دستگاه از سوژه تشخیص داده نمیشود.

اما چگونه است که نمیتوان کاری کرد که در جریان اندازه گیری یک سوژه اتمی فقط تاثیر ناچیزی روی دیگری بگذارد؟

مسئله در آنست که هر دوی آنها — هم دستگاه و هم سوژه در یک جهان کوانتائی قرار دارند و از اینرو تاثیرات متقابله آنها هم تابع قوانین کوانتائی است. و خود ویژگی اساسی پدیده‌های کوانتائی، همانا انفصال و گسستگی آنهاست. در جهان کوانتائی یک کمی وجود ندارد، در آنجا تاثیرات متقابله با کوانت روی میدهد: یعنی یا بتمام وکمال و یا هیچ. ما نمیتوانیم هر قدر ضعیف که بخواهیم روی سیستم کوانتائی تاثیر بگذاریم، تا لحظه معینی این تاثیر را اصلاً هیچ احساس نمیکند. اما وقتی مقدار تاثیر آنقدر افزایش یافت که سیستم آماده پذیرش آن گشت، آنوقت معمولاً این منجر به گذر سیستم قبلی به حالت نوین (باز هم کوانتائی) و اغلب حتی به انهدام منجر میگردد.

جریان مشاهده در مکانیک کوانتائی بیشتر مزه‌کردن‌را بیاد میاندازد

تا مشاهده نمودن را. بوجود آورندگان مکانیک کوانتائی اکثراً این جمله را تکرار میکردند که: «برای دانستن خواص پودینگ آنرا باید خورد». همانطوریکه وقتی پودینگ بیکباره بدهان بگذاریم دیگر قادر نیستیم مجدداً احساس خود را نسبت به خوبی و بدی آن آزمایش کنیم، درست همانطور هم ما اطلاعات خود را از سیستم کوانتائی نمیتوانیم بدون حد و مرزی معین سازیم: زیرا معمولاً در همان اندازه گیری اول در هم ریخته میشود. این واقعیت تلخ را هیزنبرگ نه فقط برای اولین بار فهمید بلکه هم او بود که توانست آنرا بزبان فرمول بنویسد.

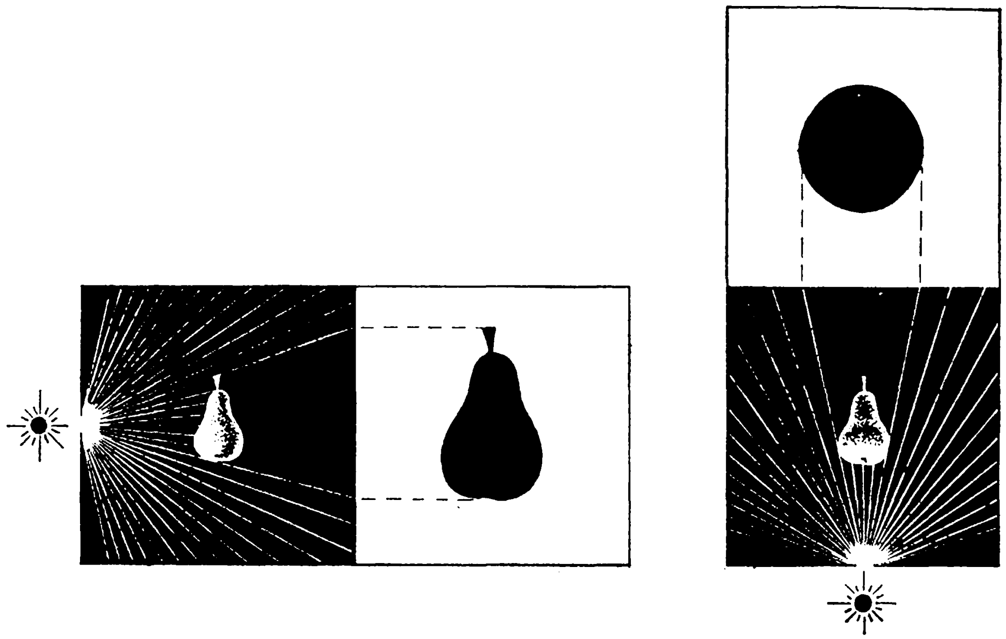
تناسب عدم‌قطعیت‌ها هر قدرهم که نامفهوم بنظر آید بالاخره یک نتیجه ساده دوالیزم ذره‌ای — موجی سوژه‌های اتمی است. علاوه بر این تناسب مزبور کلید درک تمام مکانیک کوانتائی میباشد زیرا مهمترین خود ویژگی‌های آنرا در خود متمرکز ساخته است. پس از این کشف، لازم آمد که هیزنبرگ نه تنها فیزیک اتمی بلکه تمام تئوری ادراک را مورد تجدید نظر قرار دهد.

بر داشتن چنین گامی در نیروی کسی جز نیلس بوهر نبود که سعادت آنرا داشت که تمام خصایل دانشمندی با سطح رشد فکری عالی، و فیلسوفی سرشار از اندیشه‌های حقیقی‌را در خود جمع داشته باشد. او بموقع خود سیستم اشکال مکانیک کوانتائی را بوجود آورده بود و اکنون پس از ۱۴ سال روی سیستم مفاهیم آن با دقت تمام کار میکرد.

پس از بوهر معلوم گردید که تناسب عدم‌قطعیت‌ها و ثنویت ذره‌ای — موجی تنها قسمتی از تظاهر اصل عمومی‌تری یعنی اصل متممیت میباشد.

اصل متممیت

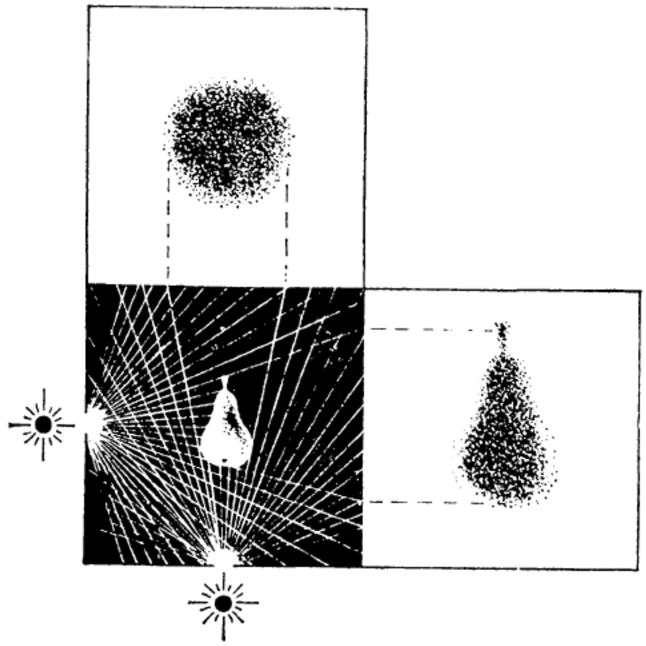
اصلی که بوهر آنرا متممیت نامید، یکی از ژرفترین نظرات فلسفی و علوم طبیعی دوران ماست که فقط با نظراتی چون اصل نسبیت یا تصوراتی از عرصه فیزیکی میتوان مقایسه کرد. آن دارای چنان عمومیتی است که نمیتوان آنرا در یک مدعی خلاصه کرد، آنرا باید متدرجاً با مثالهای مشخص فرا گرفت. از همه ساده تر (بوهر



نیز بموقع خود همینطور کرد) آنست که از تجربه و تحلیل جریان اندازه‌گیری تکان p و مختصات x سوژه اتمی آغاز کنیم.

نیلس بوهر متوجه یک نکته ساده‌ای شد: مختصات و تکان ذره اتمی‌را نمیتوان توأماً اندازه گرفت و اصولاً از یک دستگاه برای اندازه گیری آنها نمیتوان استفاده کرد. در حقیقت هم برای اندازه‌گیری تکان p ذره و زیاد تغییر ندادن آن «دستگاهی» لازم است که فوق‌العاده نرم حرکت کند. اما درست در اثر همین تحرک است که موقعیت آن بکلی نا معین خواهد بود. بنابراین برای اندازه‌گیری مختصات x باید «دستگاه» دیگری را مورد استفاده قرار دهیم که حجیم‌تر باشد بطوریکه در صورت فرود آمدن ذرات برآن از جای خود نجنبد. اما در این صورت هر قدر هم تکان آن تغییر یابد ما حتی متوجه آن نخواهیم گشت.

وقتی ما در برابر میکروفن سخن میگوئیم، امواج صدای ما در آن تبدیل به نوسانات پرده آن میگردد و هر قدر این پرده سبکتر و متحرکتر باشد، همانقدر هم دقیقتر از ارتعاشات هوا پیروی خواهد کرد. در عوض تعیین موقعیت آن در هر لحظه زمانی مشکل‌تر میشود. این ساده‌ترین آلت نمایشگر تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ میباشد: زیرا نشان میدهد که با یک تجربه نمیتوان در عین حال هر دو خصوصیت سوژه اتمی یعنی مختصات x و تکان p را تعیین کرد.



بنابر این لازم است اندازه‌گیری را دو بار و آنهم با دو دستگاه اصولاً مختلف که خواصشان متمم یکدیگر باشند انجام‌داد.

متممیت — این همان کلمه و همان تحول فکری است که همگان به همت بوهر بدان دست یافتند. قبل از بوهر عقیده همگان براین بود که ناسازگاری دو دستگاه از انواع مختلف مسلماً منجر به تناقض خواصی میشود که بوسیله آنها اندازه گرفته شده است. بوهر چنین قضاوت یکجانبه را رد کرده توضیح میداد که: بله، این خواص واقعاً ناسازگارند، اما برای بیان کامل سوژه اتمی هر دوی آنها بیکسان لازمند و از اینروهم نه متناقض بلکه مکمل و متمم یکدیگرند.

اینگونه قضاوتها درباره متممیت دو اندازه‌گیری ناسازگار را میتوان بوسیله یک مقایسه ساده روشن ساخت. فرض کنید شما میخواهید محتویات «جعبه سیاه» را بفهمید که بشکل ویژه‌ای ساخته شده است، درست همانند کامرا ابسکورا * که‌در صفحه ۲۱۳ نمایانده شده است. این اطاقک بر خلاف معمول در صفحه جلوی آن دو سوراخ دارد که در برابر هر یک از آن دو در دیواره مقابل دو شیشه عکاسی قرار داده شده است. تا وقتی سوراخها مسدودند، از شیئ موجود توی اطاقک هیچ اطلاعی نداریم مثل آنست که این شیئی وجود نداشته باشد.

---

camera obscura *

اما وقتی سوراخها را بنوبه باز کنیم آنگاه بر روی هر یک از شیشه‌های عکاسی تصویر مسطحی (دو بعدی. م.) بوجود خواهد آمد که هریک از آنها برای رویت تصویر کافی نیست، اما برای مجسم کردن تصویر برجسته (سه بعدی. م.) سوژه مورد مطالعه هر دوی این تصاویر بطور یکسان لازم وکافی میباشند.

این دو تصویر متفاوت از یک شیئ نظیر دو اندازه‌گیری متممی از انواع مختلف در مکانیک کوانتائی میباشد. در اینجا نیز این دو اندازه‌گیری‌را ما نمیتوانیم توأماً و در عین حال انجام دهیم، زیرا برای اینکار لازم میآید هر دو سوراخ این اطاقک ابسکور را باز کنیم، واضح است که در اینصورت علاوه بر سایه شیئ که از سوراخهای مربوطه بوجود میاید، از هر سوراخی هم نور «متممی» بر شیشه‌های عکاسی خواهد تابید که هر دو تصویر را ضایع خواهد کرد. همچنین روشن است که ما در همان نخستین اندازه‌گیری — مشاهده، حالت اولیه شیئ را مختل ساخته‌ایم زیرا شیئ مورد مطالعه را حرکت داده و در «اطاقک‌تاریک» بطور معکوس جلوه‌گر ساخته‌ایم. و این بدان معنی است که تصاویری که از هر یک از دو سوراخ بر شیشه عکاسی مربوطه تشکیل میشود حقیقی نبوده بلکه تحریف شده است. در این شرایط تصویر مجسمی که احیاء میگردد فقط دارای دقت کمتری میباشد که در هر صورت از تصویر دقیق اما مسطح بمراتب بهتر است.

مکانیک کوانتائی بر آنست که برای بر پا ساختن «تصویر مجسم» سوژه اتمی دو «تصویر مسطح» آن کافی است یعنی دو اندازه‌گیری متممی: مثلاً اندازه‌گیری مختصات و اندازه‌گیری تکان.

قضاوتها و تصورات قبلی را اگر بزبان مفاهیم مجرد بگوئیم تقریباً بشکل زیر خواهد بود:

سوژه اتمی — «شیئ ایست قایم بالذات» تا وقتیکه وسیله مشاهده آنرا نشان نداده‌ایم. برای مشاهده خواص گوناگون آن وسایل مختلف لازم است که اغلب با یکدیگر نا سازگارند. در حقیقت مفهوم‌های «سوژه» و «مشاهده» تجریدهای مناسبی هستند که برای بیان عمومی‌تر مفهوم «وضعیت آزمایشی» لازم میباشند. علم فیزیک خود سوژه‌ها را بخودی خود مطالعه نمیکند بلکه سیستم مشخص عملی کردن وضعیت آزمایشی را بررسی

میکند که ما «پدیده‌ها» مینامیم. از نقطه نظر تجربه، هر پدیده‌ای عبارت است از جمع آوری منظم و مرتب ارقامی که نتایج اندازه‌گیری واکنش سوژه در برابر تاثیر متقابل نوع دستگاه انتخاب شده میباشد. با انتخاب دستگاه‌های متمم مختلف ما شرایط آزمایشی و عملی کردن آنرا و تاثیرات متقابله روی خصوصیات گوناگون سوژه را عوض میکنیم. و بالاخره با مشاهده نتایج این تاثیرات متقابل ما گروه‌های مختلفی از اعداد بدست میاوریم و بدین ترتیب است که ما پدیده‌های گونا-گون را بررسی میکنیم. اگر چه نمیتوان پدیده‌های متممی‌را در عین حال طی یک آزمایش بررسی کرد در هر حال آنها کم و بیش وحدت سوژه اتمی را توصیف کرده و بطور یکسان برای توصیف کامل آن لازم میباشند.

همیشه این مهم است که چه سؤالی به طبیعت داده میشود. اگر به طبیعت کوانتائی سئوال میدهیم باید دقت ویژه‌ای مبذول داریم زیرا انتخاب آن بستگی دارد به وسیله برای جداسازی طبیعت واحدی بدو قسمت: سیستم + مشاهده. بنابر اصل متممیت حداقل دو وسیله کیفیتاً متفاوت برای جدا سازی پدیده اتمی به سیستم و مشاهده وجود دارد.

این قضاوتها درباره خواص متممیت دو دستگاه ناسازگار معنای اصل متممیت را توضیح میدهد ولی بهیچوجه آنرا تمام نمیکند. در واقع خود دستگاه‌ها بخودی خود برای ما لازم نیستند، آنهارا ما فقط برای اندازه‌گیری خواص سوژه اتمی لازم داریم. مختصات x وتکان p همان مفاهیمی هستند که با دو دستگاه اندازه‌گیری میکنیم. اصل متممیت در زنجیره ادراک که با آن آشنا هستیم

پدیده ← شکل ← مفهوم ← فرمول

قبل از هر چیز روی سیستم مفاهیم مکانیک کوانتائی و منطق استنتاجی آن منعکس میشود.

مطلب در اینستکه «قاعده حذف سومین» از جمله احکام سخت منطق صوری است که میگوید: از دو بیان متضاد، یکی حقیقی، یکی نادرست و سومی هم نمیتواند وجود داشته باشد. در فیزیک کلاسیک اتفاق

نیافتاد که نسبت به این قاعده شک و تردید حاصل شود، چونکه مفاهیم «موج» و «ذره» در آن واقعاً هم متقابل و اصولاً ناسازگار بودند. اما معلوم گردید که در فیزیک اتمی هر دوی آنها بخوبی برای بیان خواص یک سوژه واحد لیاقت دارند، ضمناً هم برای بیان کامل باید هر دوی آنهارا توأماً بکار برد.

کسانیکه دستپرورده سنن فیزیک کلاسیک بودند این خواست را بمثابه جبر و فشاری بر عقل سلیم تلقی کرده و سخن از زیر پا گذاشته شدن منطق در مکانیک اتمی بمیان میاوردند. بوهر توضیح داد که در اینجا مسئله قوانین منطق در میان نیست بلکه مسئله آن لاقیدی در میان است که اغلب بدون هیچ قید و بندی مفاهیم کلاسیک‌را برای بیان پدیده‌های اتمی مورد استفاده قرار میدهند. اما برای نوشتن دقیق تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ $\delta x \times \delta p \geqslant \frac{1}{2} h$ بزبان جدی فرمول چنین قید و شرطی لازم بود.

علت ناسازگاری مفاهیم متمم در مفکوره ما ژرف است، اما قابل بیان. مطلب بر سر آنست که، ما بکمک حواس پنجگانه خویش قادر نیستیم سوژه اتمی‌را مستقیماً درک کنیم. بجای آنها از دستگاه‌های دقیق و پیچیده‌ای استفاده میکنیم که تقریباً در این اواخر اختراع شده اند. کلمات و مفاهیم مورد نیازما برای توضیح نتایج تجربیات مدتها قبل از مکانیک کوانتائی پدیدار گشته اند و بهیچ شکلی با آنها دمساز نیستند. اما ما مجبوریم از آنها استفاده کنیم چون چاره دیگری نیست: زیرا زبان و کلیه مفاهیم اساسی را ما با شیر مادر درمیابیم و در هر صورت مدتهای زیادی قبل از آنکه از وجود فیزیک اطلاع داشته باشیم.

اصل متممیت بوهر تلاش موفقیت‌آمیزی بود بمنظور سازش نواقص سیستم کهنه شده مفاهیم با رشد دانائی‌های ما از جهان. این اصل با توضیح اینکه در فیزیک اتمی نه تنها مفاهیم تغییر میکنند بلکه خود طرح مسایل درباره ماهیت پدیده‌های فیزیکی عوض میشود، امکانات مفکوروی ما را وسعت بخشید.

اما اهمیت اصل متممیت به حیطه مکانیک اتمی که در آنجا نخستین بار پدیدار گشت محدود نمیگردد. تنها بعدها هنگام کوشش

برای بسط آن بر دیگر بخش‌های علم، اهمیت حقیقی آن برای تمام سیستم معلومات بشری آشکار گردید. درباره قانونمندی چنین گاسی میتوان جرو بحث کرد، اما رد ثمربخشی آن در هر موردی حتی خیلی هم دور از فیزیک ممکن نیست.

خود بوهر دوست داشت از بیولوژی، از زندگی یاخته‌ها مثال بیاورد که نقش آن کاملاً نظیر اهمیت اتم در فیزیک است. همانطوریکه اتم آخرین مظهر جسم است که هنوز خواص آنرا محفوظ میدارد، یاخته نیز کوچکترین قسمت هر ارگانیسمی است که هنوز مظاهر زندگی را در بغرنجی و موجودیت تکرار ناپذیر خویش مینمایاند. مطالعهٔ زندگی یاخته — یعنی بررسی کلیه جریانات ابتدائیه‌ای که در یاخته میگذرد و در عین حال درک آن تاثیرات متقابله‌ای که منجر به حالت مخصوصی از ماده میگردد که همان حیات است.

طی تلاش برای عملی کردن این برنامه معلوم گردیده است که توأم کردن چنین تجزیه و ترکیبی بطور همزمان عملی نیست. در حقیقت هم برای نفوذ در جزئیات مکانیسم یاخته، ما ابتدا آنرا زیر میکروسکپ معمولی و سپس الکترونی قرار میدهیم، آنرا حرارت میدهیم، جریان برق از آن عبور میدهیم، تحت تشعشعاتش قرار میدهیم و به قسمتهای متشکله اش تقسیم میکنیم... اما هر قدر در مطالعات خود موشکافتر باشیم، همانقدر هم بیشتر در وظایف آن و در جریانات طبیعی که از آن تراوش میکند مداخله کرده‌ایم. سر انجام هم ما آنرا در هم میریزیم و بهمین علت هم از آن بعنوان یک ارگانیسم کامل زنده چیزی دستگیرمان نمیشود.

باهمه اینها برای پاسخ دادن به سؤال «حیات چیست؟» هم تجزیه و هم ترکیب توأماً لازم میاید. این جریان‌ها نا سازگارند، اما متناقض نیستند، و بعقیده بوهر متمم‌اند. در عین حال باید توأم بودن آنهارا بحساب آورد و این خود یکی از عللی است که هنوز پاسخی برای سوال ماهیت حیات چیست وجود ندارد.

در اتم نیز چون ارگانیسم زنده، حفظ تمامیت خواص «موجی — ذره‌ای» آن مهم است. آخرین مرحله تقسیم‌پذیری ماده نه تنها به آخرین تقسیم‌پذیری پدیده‌ها منتهی میگردد بلکه همچنین به حد تقسیم‌پذیری آن مفاهیم میرسد که ما بکمک آن پدیده را بیان میداریم.

معمولاً میگویند طرح صحیح مسئله، خود نیمی از پاسخ است، و واقعاً هم همینطور است.

طرح صحیح مسئله یعنی سؤال درباره آن خواص پدیده که واقعاً در آن وجود دارد. بنابر این چنین سؤالی بخودی خود شامل کلیه مفاهیمی خواهد بود که در پاسخ باید از آنها استفاده کرد. به سؤالی که به بهترین شکل ممکنه مطرح شده باشد میتوان با جوابهای کوتاه «بله» یا «نه» پاسخ داد. بوهر ثابت کرد که سؤال «موج یا ذره؟» که در مورد سوژه اتمی بکار میبرند، غلط مطرح شده است. چنین خواص از هم جدائی در اتم وجود ندارد، از اینرو نیز سؤال پاسخی همانند «بله» یا «نه» را نمیپذیرد. درست همانطور که برای سؤالی مثل «متر زیادتر است یا کیلوگرم؟» پاسخی وجود ندارد و برای کلیه سؤالات نظیر آن.

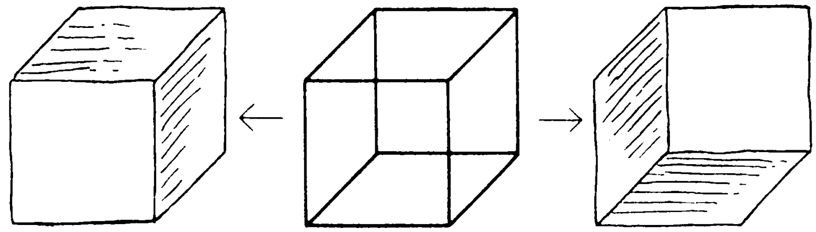
دو خاصیت متمم اتمی چیزی نیست که بتوان از هم جدا کرد بدون آنکه تمامیت و وحدت پدیده طبیعی‌را یعنی آنچه ما اتم مینامیم نقض نگردد. حوادث نظیر در میتولوژی شهرت دارد: مثلاً قنطروس* را نمیتوان چنان بدو قسمت کرد که هم اسب و هم آدم زنده بمانند.

سوژه اتمی — این نه ذره است و نه موج و حتی نه آندو توأماً. سوژه اتمی یک چیز سومی است که جمع ساده دو خاصیت موج و ذره نمیباشد. این «یک چیز» اتمی، محسوس حواس پنجگانه ما نبوده و در عین حال بدون هیچ قید و شرطی واقعیت است. ما فاقد آن تصور و احساس هستیم که بتوانیم خواص این واقعیت را پیش خود مجسم داریم. اما نیروی مدرکه ما با اتکاء به تجربه در هر حال درک آنها را ممکن میسازد. بالاخره (بحقانیت بوهر باید معترف شد) «...اکنون دانشمند فیزیک اتمی از مرحله تصورات آرام طبیعت شناسی منسوج که امیدوار بود با ترصد پروانه در چمنزار به اسرار طبیعت پی ببرد، بسیار پیش رفته است».

هنگامیکه هیزنبرگ مفهوم «عدم وابستگی حالت سیستم فیزیکی به مشاهده» را که فیزیک کلاسیک ایده‌آلیزه کرده بود بدور انداخت،

---

* قنطروس Centaur از کلمه یونانی Kentauros موجودی افسانه‌ای است که نیمی انسان و نیمی اسب بوده است. م.



با همان عمل یکی از نتایج اصل متممیت را پیشبینی کرد، زیرا مفاهیم «حالت» و «مشاهده» در فکر بوهر بصورت متمم آمده بودند. آنها جدا از هم کامل نمیباشند و از اینرو هم فقط توأماً قابل تعیین هستند، یکی بوسیله دیگری. یا قطعی‌تر بگوئیم، این مفاهیم بطور کلی مجزا از هم وجود نداشته و آنچه ما همیشه مورد مشاهده قرار میدهیم یک چیز کلی نیست بلکه حتماً یک حالتی است. و برعکس هر «حالتی» که هنوز ما وسیله «مشاهده» آنرا نشان نداده‌ایم، همانطور بصورت شیء قایم بالذات باقی خواهد ماند.

اگر مفاهیم موج، ذره، حالت سیستم، مشاهده سیستم، را بطور مجزا در نظر بگیریم، آنوقت اینها تجریدهائی خواهند بود که هیچ ارتباطی با عالم اتمی نخواهند داشت ولی برای درک آن لازمند. اشکال کلاسیک ساده از این نظر متممند که برای بیان کامل ماهیت پدیده‌های اتمی اختلاط هماهنگ این دو غایت لازم است، اما در چهار چوبه منطق عادی آنها وقتی میتوانند بدون تناقض وجود داشته باشند که حیطه کار برد آنها متقابلاً محدود باشد.

بوهر پس از تفکرات بسیار روی آنها و مسایل مشابه به این نتیجه رسید که یک قاعده کلی بعید بنظر نمیرسد: هرگونه پدیده حقیقتاً ژرف طبیعی با کلمات زبان ما قابل تعریف نیست و حداقل بدو مفهوم متمم متقابلاً مستثنی‌کننده احتیاج دارد. این بدان معنی است که در شرایط حفظ زبان خود و منطق عادی تفکر بشکل متممیت را در محدوده فرمولبندی دقیق مفاهیمی قرار دهیم که با حقیقت ژرف پدیده طبیعی مطابقت دارند. چنین تعریف‌هائی یا یکسانند که در آنصورت کامل نیستند و یا کاملند و در آنصورت یکسان نیستند، زیرا شامل مفاهیم متممی میگردند که در چهارچوبه منطق عادی دیگر نمیگنجند. مفاهیم «حیات»، «سوژه اتمی»، «سیستم فیزیکی» و حتی خود مفهوم «درک طبیعت» از اینگونه مفاهیم هستند.

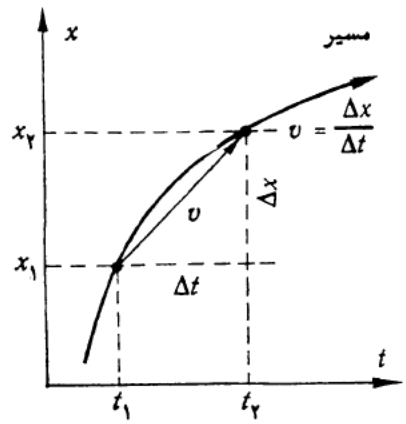
از قدیم‌الایام معلوم بوده است که علم فقط یکی از وسایل آموزش و مطالعه جهانی است که ما را احاطه کرده است. وسیله دیگر متمم آن شامل هنر میگردد. وجود هنر و علم توأم با هم اصل متممیت را بوضوح نمایش میدهد. میتوان کاملاً در علم فرو رفت و یا تماماً در هنر زندگی کرد، هر دوی این بر خوردها با زندگی دارای قانونمندی یکسان میباشند، ولی اگر بطور مجزا گرفته شده باشند غیر کامل هستند. محور علم — منطق و تجربه است. و اساس هنر — احساسات درونی و بینائی است. اما هنر بالت دقت ریاضی لازم دارد، «...الهامگیری از هندسه نیز لازم میاید همانطور هم که در شعر». آنها متناقض هم نبوده بلکه متمم یکدیگرند، علم حقیقی قوم و خویش هنر است و درست همانطور هم هنر واقعی همواره عناصری از علم را دربر دارد. آنها در حد اعلای تظاهر از هم متمایز نبوده و جدائی ناپذیرند، هم چون خواص «موج — ذره» در اتم. آنها جهات مختلف و متمم تجربیات بشری را منعکس میکنند و فقط وقتی که با هم در نظر گرفته شوند تصور کامل از جهان را بما میدهند. متاسفانه «تناسب عدم قطعیت‌ها» فقط برای دو مفهوم بهمپیوسته «علم — هنر» نا معلوم است و از اینرو هم میزان خسارات متحمله ما از درک یکجانبه زندگی نا معلوم میباشد.

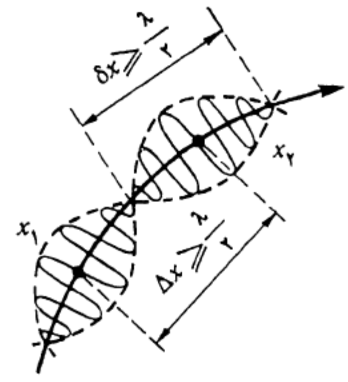
البته مقایسه‌ای که انجام دادیم همانند هر مقایسه‌ای نه کامل بود و نه دقیق، آن فقط بما کمک میکند تا وحدت و تناقض‌تمام سیستم دانش بشری‌را احساس کنیم.



ثنویت و عدم قطعیت

از سابق در اپتیک موجی معلوم بود که بوسیله هیچ میکروسکپی نمیتوان ذره‌ای را ملاحظه کرد که ابعادش کمتر از نصف طول موج





«مسیر» موج ذرات

نور تابنده بر آن باشد. در اینجا هیچ چیز قابل تعجبی وجود نداشت، اسواج نور برای خود وجود دارند و ذرات برای خود. اما وقتی روشن گردید که به ذرات هم میتوان طول موج نسبت داد، آنوقت این حکم اپتیک موجی مبدل به تناسب عدم‌قطعیت‌ها گردید: ذره دقیقتر از نصف طول موج خویش نمیتواند خود را جایگزین سازد.

وقتیکه دیگر مکانیک کوانتائی استقرار میبافت حتی فیزیک‌دانان خوب هم با تلخی استهزاآمیزی میگفتند: حالا ما باید دوشنبه و چهار شنبه و جمعه الکترون را ذره تصور کنیم و بقیه روزها موج. دیویسن در سال ۱۹۲۸ طی مقاله مشهور خود تحت عنوان مخصوص «آیا امواج الکترونی وجود دارد؟» نوشت: «این حد اعلای خارق‌العادگی وقابلیت سراسیمه گشتن است، ما نه تنها باید بپذیریم که در معنای معینی خرگوش گربه است، بلکه هم‌چنین باید باور داشته باشیم که در معنائی هم گربه خرگوش است.»

این چنین طرز تفکری مارا به یک سلسله عقاید ضد و نقیض میکشاند که از دست آنها رهائی نخواهیم داشت مگر آنکه به یکباره خود را وادار سازیم خواص «موجی — ذره‌ای» الکترون را از هم مجزا نسازیم، تنها پس از آنست که این تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ دیگر از حیرت‌انگیز بودن باز میایستد و مبدل به نتیجه ساده دوآلیسم ذره‌ای — موجی میگردد.

برای آنکه متقاعد گردیم، یک تجربه تصوری از اندازه‌گیری تکان p ذره در حال پرواز با جرم m را طرح میکنیم. چنانچه معلوم است

$p=mv$ ، بنابراین برای ما کافی است سرعت v را اندازه‌گیری کنیم. برای اینکار هم باید موقعیت‌های x_1 و x_2 را در لحظات زمانی t_1 و t_2 یادداشت کنیم و سپس سرعت را از روی فرمول زیر محاسبه کنیم:

$$v=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

مثل همیشه هنگام اندازه‌گیری ما روی ذره تاثیر کرده و نتیجتاً سرعتش را تغییر داده‌ایم بنابراین اگر ما میخواهیم سرعت v را هر قدر ممکن است دقیقتر اندازه‌گیری کنیم، باید نقاط x_1 و x_2 را حتی الامکان نزدیک بهم انتخاب کنیم و به حد $\Delta x \to 0$ برویم. این کاری است که در فیزیک کلاسیک میکردند.

اما در مکانیک کوانتائی ما نمیتوانیم x_1 و x_2 را هر قدر دلمان بخواهد نزدیک بهم انتخاب کنیم، و همواره باید بخاطر داشته باشیم که ذره پرنده، یک نقطه نیست بلکه یک جریان موجی است و نمیتوان آنرا کمتر از نصف طول موج این جریان تصور کرد: پس میزان اشتباه δx در تعیین هر یک از مختصات x_1 و x_2، همیشه بیشتر و یا حداقل مساوی $\frac{\lambda}{2}$ میباشد.

با دلایل مشابه معنی نخواهد داشت اگر مسافت $\Delta x = x_2 - x_1$ بین دو اندازه‌گیری را هم کمتر از $\frac{\lambda}{2}$ بگیریم. بدین ترتیب دقیقترین مقدار سرعت v وقتی بدست میآید که $\Delta x=\frac{\lambda}{2}$ باشد و در این صورت معادل خواهد بود با $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{\lambda}{2\Delta t}$. واضح است که این مقدار حتی میزان اشتباه δv را که برطرف نشدنی است و وابسته به δx حاصله از مختصات x_1 و x_2 میباشد نیز شامل بوده و معادل است با

$$\delta v=\frac{\delta x}{\delta t}\geqslant\frac{\lambda}{2\Delta t}$$

با مقایسه دو فرمول اخیر برای v و δv به نتیجه غیر منتظره ولی مشخص میرسیم که $v \geqslant \delta v$. یعنی میزان اشتباه در تعیین تکان همیشه بیشتر و یا حداقل معادل دقیقترین مقدار اندازه گرفته شده میباشد: $p \geqslant \delta p$.

مقدار مطلق میزان اشتباه δp را طول موج λ معین میسازد. در حقیقت همان فرمول دوبروی $\lambda = \frac{h}{p}$ را میتوان چنین نوشت: $p = \frac{h}{\lambda}$ و مادام که $p \geqslant \delta p$ است پس $\delta p \geqslant \frac{h}{\lambda}$ است. بدین ترتیب هر دو میزان اشتباه

$$\delta x \geqslant \frac{\lambda}{۲} \quad \text{و} \quad \delta p \geqslant \frac{h}{\lambda}$$

بطول موج λ وابسته میباشند. پس هر قدر ذره یواشتر حرکت کند، همانقدر طول موجش $\left(\lambda = \frac{h}{mv}\right)$ زیادتر خواهد بود و همانقدر هم میزان اشتباه δp کمتر خواهد شد. اما درست برای چنین ذره‌ای عدم‌قطعیت مختصات δx خیلی بزرگ است. با تغییر سرعت ذره ما میتوانیم یا δx ویا δp را تقلیل دهیم اما هرگز نمیتوانیم حاصلضرب آنها را تقلیل دهیم:

$$\delta x \times \delta p \geqslant \frac{۱}{۲} h$$

تجربه و پندار پرن

از تجربه و تحلیلی که انجام دادیم یک نتیجه غیر منتظره دیگری نیز بدست میآید، اگر چه برای ما معلوم بود: سوژه‌های اتمی مسیر ندارند، زیرا در محاسبه سرعت ذره $v = \frac{dx}{dt}$ نمیتوان بحد $\Delta x \to ۰$ و $\Delta t \to ۰$ رسید و این مشتق را محاسبه کرد: $v = \frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta x \to ۰} \frac{\Delta x}{\Delta t}$

این یک تمثیل تئوریک است و در تجربه اولین مرتبه ژان پرن به آن برخورد و این هنگامی بود که او حرکت براونی‌را مطالعه میکرد. او بدین مناسبت چنین مینویسد:

«پیچ و خم‌های مسیر بقدری زیادند و با چنان سرعتی به‌پیش

میتازند که نمیتوان آنها را دنبال کرد... سرعت متوسط ظاهری در مدت فواصل زمانی معین چه از لحاظ مقدار و چه از لحاظ سمت دستخوش تغییرات بزرگ میگردد و بهیچوجه سعی ندارد در تقلیل این فواصل به حد معینی برسد. این مطلب را بدین ترتیب میتوان بسهولت دریافت. موقعیت لکه‌را روی پرده پس از هر یک دقیقه و سپس بعد از هر ۵ ثانیه یادداشت کنیم و سر انجام در فواصل $\frac{۱}{۲۰}$ ثانیه از آن عکس برداری کنیم. در هیچیک از نقاط مسیر نمیتوان خط مماسی با سمت معینی بدست آورد. در این حالت مشکل است خود را از فکر توابع بدون مشتق رهانید که آنها را بیهوده فقط یک چیز عجیب و غریب ریاضی میدانند. در حقیقت این طبیعت است که تصور درباره آنهارا بموازات ایده توابع دارای مشتق تلقین میکند».

پس از گذشت ۱۰ سال حدسیات پرن را بنیادگذار علم فرمان شناسی* نوربرت وینر با ایجاد تئوری حرکات براونی بر اساس «توابع پیوسته بدون مشتق» تایید کرد.

واضح است که حرکت براونی هنوز مکانیک کوانتائی شمرده نمیشد، اما این خود تمثیل عالی از برخی خود ویژگیهای آن بود.

شاعر و اصل متممیت

خود بخود اصل متممیت، اگر خارج از فیزیک در نظر گرفته شود، اختراعی است قدیمی. در ماهیت امر، این یکی از مقولات مشهور منطق دیالکتیک است و به انواع گوناگون بکرات توسط فلاسفه مختلف در همه اوقات بیان شده است. مثلاً ارسطو میگفت که «هماهنگی عبارت از اختلاط و تالیف تضادهاست» و یا اینکه «تریاد» هگل را میتوان پیروزمندانه برای تحلیل مفاهیم مکانیک کوانتائی بکار برد.

در این مورد جالب است بخاطر آورد که اصل متممیت‌را چگونه شعرا برای خودشان از نو کشف کردند. در سال ۱۹۰۱ والری

---

*علم فرمان‌شناسی یا سیبرنتیک ــ نظریه ارتباط و کنترل مکانیسم در موجودات زنده و ماشین.

بروسوف مقاله‌ای تحت عنوان «حقیقت» نوشت که در آن عیناً کلمات زیر را میخوانیم:

«جهان‌بینی ما هر چه میخواهد باشد، مبانی وجود دارند که بلاقید و شرط برای فکر ضروری‌اند... در حالیکه به تفکر آغاز میکنم من باید... ایمان داشته باشم که برای من، بطور کلی برای انسان، درک حقیقت بوسیله فکر ممکن است، و احتمال هم دارد که راه‌های دیگری برای درک جهان وجود دارند: آرزو، پیش‌حسی، وحی، اما اگر من به سببی تفکر منطقی‌را برگزیدم در آنصورت باید بدان اعتماد کنم. در غیر اینصورت هرتفکری غیر لازم خواهد شد...».

«برای تفکر کثرت لازم است، بدون وابستگی به اینکه این کثرت عبارت از تقسیم شدن من باشد و یا اینکه چیز دیگر خارجی بوده باشد. فکر، و بطور کلی زندگی از برابر هم قرار گرفتن لااقل دو مبنا بوجود میاید. مبنای واحد نیستی است، وحدت حقیقت بیمعنی است. اگر راست و چپ وجود نداشت مکان هم وجود نمیداشت، اگر خیر و شر وجود نداشت اخلاقیات هم وجود نمیداشت».

«در حقیقت فقط آن چیز با ارزش است که در آن میتوان شک کرد. «خورشید هست» در این نمیشود شک کرد... این حقیقت است، اما در آن ارزش مستقلی وجود ندارد و برای هیچکس لازم نیست. هیچکس بخاطر آن خود را بآتش نمیافکند. حتی روشن‌تر بگوئیم، این حقیقت نیست بلکه تعریف است. «خورشید هست» — این یک بیان ویژه ایست بجای اینکه بگوئیم: چنین چیزی را من خورشید مینامم».

«حقیقت فقط وقتی ارزش پیدا میکند که بخشی از جهان‌بینی ممکن میشود. لیکن در عین حال آن حقیقت قابل بحث میشود، لااقل امکان مباحثه در باره آن بوجود میاید... علاوه براین، حقیقت ارزنده حتماً این حق را دارد که حقیقتی متضاد، مطابق با خود داشته باشد؛ بعبارت دیگر — قضاوت درست متضاد با حقیقت، بنوبه خود حقیقی است...».

لابد بجاست در اینجا پاسکال را هم بخاطر آورد که نوشت: همه اصول طرفداران پرون، استوئیک‌ها، بیدینان و دیگران حقیقی هستند، اما نتایج آنها دروغند. زیرا اصول متضاد نیز حقیقی‌اند.

قابل توجه است که خیلی از این اظهارات تقریبا کلمه بکلمه

فرمول بوهر را از پیش خبر داده‌اند. خیلی‌ها نمیدانند که بوهر به اصل متممیت خود نه «از فیزیک» بلکه «از فلسفه» رسید. اندیشه متممیت هنوز در سالیان جوانی تحت تاثیر فیلسوف کرکگور در او پرورده شد. بعدها این فکر قوت گرفت و دقیق گردید تا آنکه بالاخره بطرزی شایان در فیزیک اتمی بکار برده شد. همان والری بروسف پس از ۲۰ سال، یعنی در سال ۱۹۲۲ هنوز قبل از پیدایش مکانیک کوانتائی، شعری نوشت که بقدر کافی گویا است:

جهان الکترون

ممکن است، این الکترونها
دنیاهائی باشند با پنج قطعه
هنرها، دانش‌ها، نیروها، تخت‌ها
و خاطرات چهل قرن!
باز ممکن است، هر اتم
جهانی باشد با صد سیاره
آنجا همه آنچه که در
اینجا در حجمی فشرده
لیکن آنچه هم، که دراینجانیست
اندازه‌هایشان کوچک، اما همان
بی نهایتشان، همانند اینجا
آنجا غصه و شوق، همانند اینجا وحتی
آنجاهم همان نخوت دنیوی
حکمای آنان، دنیای بیکران خودرا
مرکز هستی کرده
به نفوذ در اخگر حقیقت میشتابند
وتعقل میکنند، همچنانکه
من اکنون...

فصل نهم

معادله شردینگر ◊ شکلی که تابع ψ نمایشگر آنست ◊ آتم ◊ حقیقت کوانتائی

«آن طبیعت‌شناسی‌را که بمنظور کشف ارتباطات متقابله وسیعتری عرصه درک مستقیم محسوسات‌را ترک میگوید، میتوان به کوه نوردی تشبیه کرد که میخواهد به مرتفعترین قلل کوه صعود کند تا منطقه‌ای را که در برابرش گسترده شده است باتمام گوناگونیهایش تحت نظر گیرد. کوه‌نورد نیز ناچار باید دره‌های مسکونی حاصلخیز را ترک گوید. اگرچه هر قدر بیشتر صعود میکند منطقه وسیعتری در برابرش گسترده میشود، ولی در عوض همانقدر هم بتدریج کمتر آثار حیات در اطراف خود مشاهده میکند. سر انجام به ناحیه‌ای پوشیده از یخ و برف میرسد که نور خیره کننده آن دیده را از بینائی باز میدارد، و در آنجا دیگر آثاری از حیات بچشم نمیخورد و حتی تنفس هم تقریباً غیر ممکن میگردد. تنها با عبور از این ناحیه است که او میتواند به قله دست یابد. اما وقتی بر راس قله قرار گرفت، لحظه‌ای فرا میرسد که چشم‌انداز برابر خود را با وضوح تمام میبیند. شاید در آنموقع عرصه زندگی از او چندان دور نباشد... در اعصار گذشته این عرصه فاقد حیات‌را بمنزله صحرای قهرآلود میپنداشتند که نفوذ در آن بمنزله اهانت به نیروی خارق‌العاده‌ای بود که کسانی را که جسارت نزدیک شدن بدان را میکردند، بشدیدترین وجهی کیفر میداد.».

این سخنان هیزنبرگ بخوبی نمایشگر آن جهش کیفی در تفکرات بشری است که هنگام گذرش از مشاهده پدیده‌هائی که مستقیماً روی دستگاه حواسش تاثیر میگذارد، بمطالعه و بررسی پدیده‌های اتمی حاصل گردید. این تحول در آغاز قرن جاری روی داد و

این بقدری مهم است که جا دارد بازهم باآوردن مثالهای مشخص به توضیح آن بپردازیم.

فرض کنید در برابر شما سیمی که خوب کشیده شده باشد در حال پخش صوتی‌است. شما آن صدا را میشنوید، نوسانات سیم‌را بچشم خود میبینید و حتی میتوانید با دست خود لمس کنید، بر اساس این معلومات است که در مخیله شما شکل یک پدیده فیزیکی که در برابر شما صورت میگیرد نقش میبندد. مفهوم «جریان موجی» بعداً در حین مشاهده پدیده‌های نظیر دیگری بوجود میآید. برای آنکه این مفهوم را یک معنائی سازیم باید آنرا بوسیله فرمول و معادلات تثبیت کرد که مارا قادر میسازد بتوانیم تمام جریان نوسانی سیم را از قبل پیشگوئی کنیم. این پیشگوئی را ما میتوانیم سپس بیازمائیم و ضبط کنیم مثلاً بوسیله فیلم‌برداری از ارتعاشات سیم...

ما دانسته دانسته بار دیگر این زنجیره را از نظر میگذرانیم:

پدیده ← شکل ← مفهوم ← فرمول ← تجربه که اساس کلیه معلومات فیزیکی را تشکیل میدهد. آخرین حلقهٔ این زنجیره یعنی تجربه، کارش آزمون است که به‌بیند پدیده‌ای‌را که ما بر اساس اطلاعات جزئی و محدود خود درباره آن پیش خود تصور کرده‌ایم تا چه حد صحیح است.

اما این طرح ساده قادر نیست به سؤال «اتم چیست؟» پاسخ دهد، برای آنکه پدیده «اتم» روی ارگانهای حس ما تاثیر نگذاشته و این ارگانها نمیتوانند بهیچوجه و حتی بطور تقریبی هم شده «شکل اتم» را بما بدهند. از اینرو مفهوم «اتم» ابتدا فقط بصورت تخیلی بدون استناد به ارگانهای حس بوجود آمد و طی بیست قرن چیزی جز یک فرضیه عجیب و جالب نبوده است که از نظر ساختمان ماده بر دیگر فرضیه‌ها هیچ مزیتی نداشت.

تاریخچه واقعی اتم از هنگام برخورد علمی بدان آغاز شد یعنی از وقتیکه مردم علاوه بر اعتماد به ارگانهای حس خود، آموختند که نمودارهای دستگاه‌ها را هم باید باور داشت. بکمک دستگاه‌ها بود که توانستند مشاهده نمایند که مثلاً ساده وقتی حل میشود، هنگامیکه برق از محلول عبور داده میشود، در موقع گرم شدن، لحظه‌ای که در معرض تابش قرار میگیرد و یا در برابر خیلی تاثیرات دیگر

چه واکنشی از خود نشان میدهد. علما تنها به مشاهده این پدیده‌ها سرگرم نبودند، بلکه آنها را آموختند و مطالعه کردند یعنی دمای ماده‌را، طول موج نور متشعشعه از آنها وخیلی چیزهای دیگر را اندازه گرفتند که اکنون همه آنهارا میدانیم. آنها نتایج اندازه‌گیری‌های خودرا بصورت اعداد ثبت کردند. اینها همان اعدادی هستند که فیزیک‌دانان جایگزین محسوسات کردند که قبلاً ارگانهای حس مستقیماً بما میدادند. عدد — این همان یگانه چیزی است که هنگام مطالعه و بررسی پدیده‌هائی که بدرک مستقیم آنها دسترسی نیست، بدان اعتماد کردند. با در دست داشتن اعداد، ارتباطات بین پدیده‌هارا پیدا کردند و نوشتن این ارتباطات را بصورت فرمول آغاز نهادند.

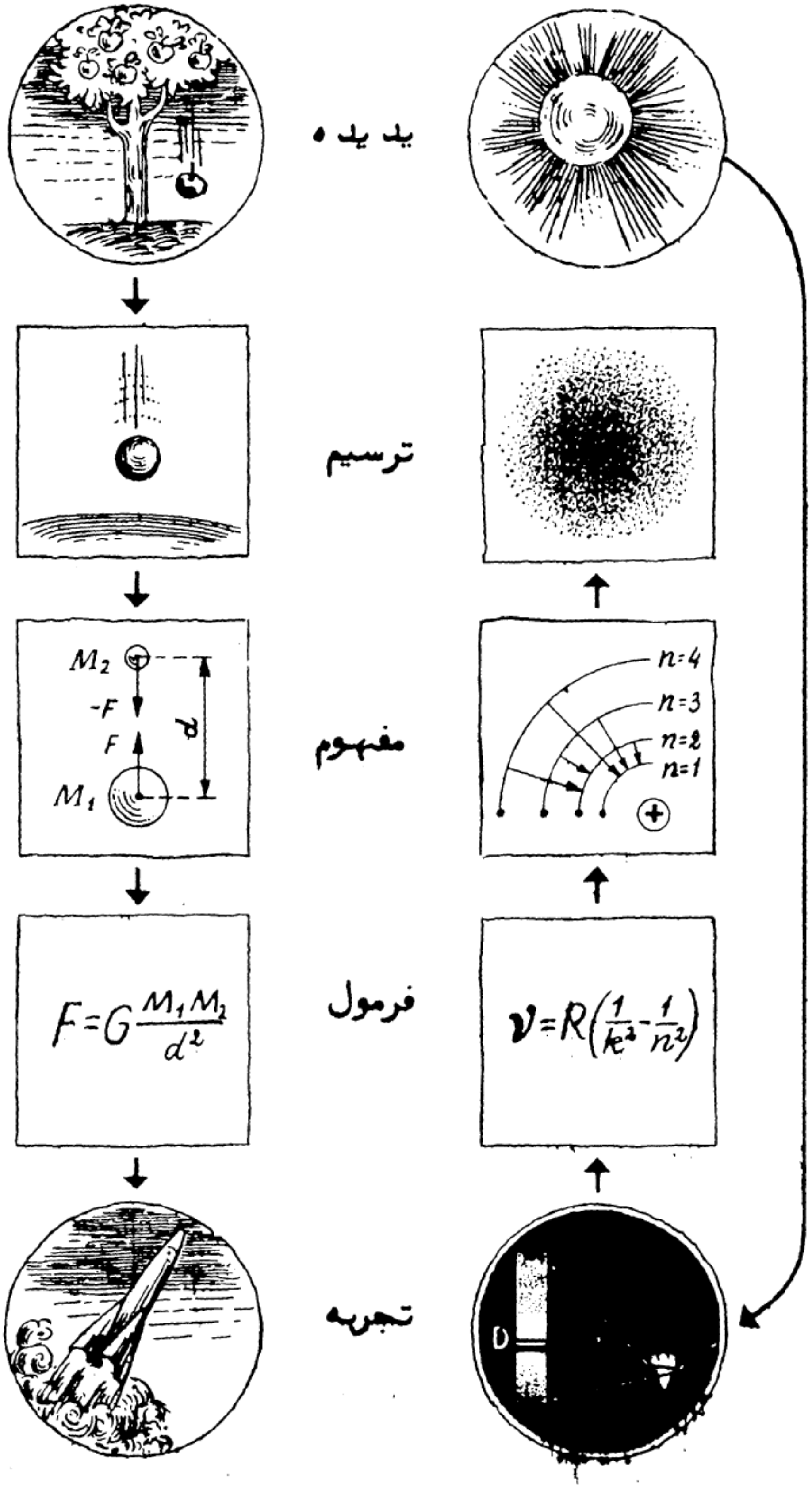
اما مردم بکمک فرمول‌ها باهم آمیزش نمیکنند بلکه بکمک کلمات باهم محشورند، بمنظور آنکه این روابط جدید طبیعت‌را بیان دارند، مفاهیمی اندیشیدند که با آن فرمول‌ها مطابقت داشت. اغلب این مفهوم‌ها بسیار غیر عادی است، اما مردم زود به آنها خو میگیرند و حتی برای خود اشکالی تصور میکنند که با این مفاهیم نوین مربوط هستند.

اکنون زنجیره تفکر رجعت میکند:

پدیده شکل ← مفهوم ← فرمول ← تجربه

این زنجیره را در تاریخچه اتم بسهولت میتوان دنبال کرد: فراون‌هوفر، کرشهف، بونزن پیدا کردند که هر اتم دسته خطوط طیفی (پدیده) بسیار معینی را پخش میکند و هر خط طیفی متناسب با عدد — طول موج λ (تجربه) است. بالمر، ریدبرگ و ریتس روابط ساده‌ای (فرمول) بین این اعداد پیدا کردند، و بوهر نشان داد که فرمول آنها از یک اصل واحد سرچشمه گرفته است که آنرا کوانتائی نامید (مفهوم). سرانجام بر پایه این تجربیات، فرمول‌ها و مفاهیم شکل اتم بوهر پدیدار گشت.

اما تجربه ادامه یافت، اعداد تازه و واقعیات نوینی بدست داد که دیگر در چهار چوبه فرمول‌ها، مفاهیم و اشکال سابق نمیگنجید. آنگاه بود که مکانیک کوانتائی پدیدار گشت — همان اصل واحدی که از آن تمام فرمول‌های آزمایشی سابق و حدسیات موفقیت‌آمیز منتج گردید.


پدیده
ترسیم
مفهوم
فرمول
تجربه
M_2
-F
F
d
M_1
n=4
n=3
n=2
n=1
$F = G\frac{M_1 M_2}{d^2}$
$\nu = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$

تا بحال ما مطالعات زیادی درباره تجربیات فیزیکی اتمی و درباره مفاهیمی که برای بیان این تجربیات باید از آنها استفاده کرد آموخته‌ایم. لیکن ما خواهان بیش از اینها هستیم: ما میخواهیم بر اساس این معلومات جدید در سطح عالیتر شکل‌اتمی را بوجود آوریم. برای اینکار لازم است، اگر سرپائی هم شده، نظری به فرمولهای مکانیک کوانتائی بیاندازیم. این لازم است — زیرا در هر حال زیبائی ساختمان منطقی در علم بمراتب مهمتر از اثر روابط غیر منتظره است.

معادله شردینگر

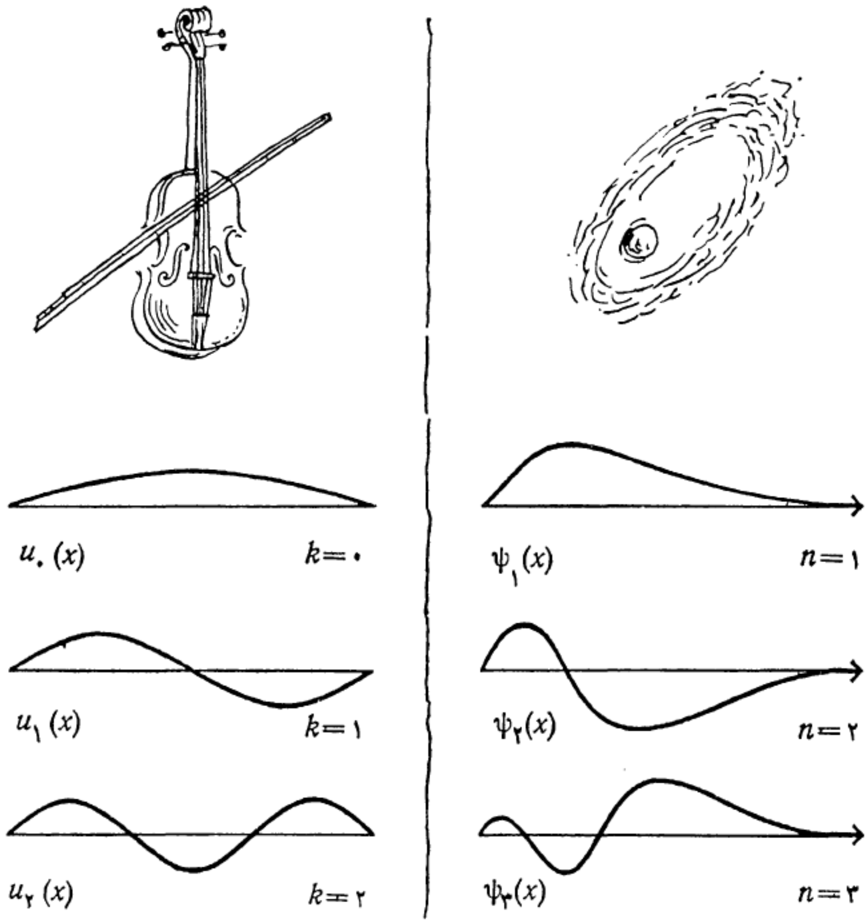
آنچه سابقاً درباره مکانیک کوانتائی شرح دادیم تقریباً ما را مطمئن ساخت که الکترون در اتم دارای سوضع معین و مشخص و یا لااقل مداری نمیباشد که بر آن حرکت کند. و عجالتاً بجای آن ما تئوری کاملاً مبهمی‌را بین خود قرار گذاشته‌ایم که بر حسب آن الکترون حین حرکت در اتم «پخش میشود».

شردینگر سوفق شد این نظریه نامشخص را بزبان یکمعنائی و دقیق فرمول بیان دارد. معادله شردینگر را نظیر هر قانون ژرف طبیعت دقیقاً نمیتوان از ساده‌تر از آن استخراج کرد. آنرا فقط میتوان حدس زد. شردینگر نیز همین کار را کرد، و بعداً اعتراف کرد که خود نیز کاملا نمیداند چگونه بدان رسیده است. اما پس از آنکه معادله حدس زده شد، میبایست یاد گرفت که چگونه از آن باید استفاده کرد، باید فهمید علامات آن چه معنی میدهند و چه پدیده‌هائی از اتم را باز تاب میکنند.

اینست معادله شردینگر:

$$\frac{d^{2}\psi}{dx^{2}}+\frac{2m}{\hbar^{2}}[E-U(x)]\psi=0$$

اگر فراموش نکرده باشید، ما یک بار معنای علامات موجود در آنرا شرح دادیم، $\hbar$ — ثابت پلانک h بود که بر 2π تقسیم شده است، m جرم الکترون و E انرژی کامل الکترون در اتم و $U(x)$ انرژی پتانسیل آنست که نشان میدهد با چه نیروئی الکترون مجذوب هسته



میشد اگر ذره‌ای بود واقع در فاصله x از آن. اما بازهم معنی تابع موجی پسی (ψ) نا معلوم است. برای آنکه آنرا بفهمیم باز به مقایسه با نوسانات سیم متوسل میشویم.

معادله آن چنین بود:

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 U = 0$$

این معادله بسیار بمعادله شردینگر شباهت دارد. ما چند راه حل معادله سیم یعنی تابع $U = U_k(x)$ را رسم کردیم. و آن سینوسوئیدهای معمولی است که همه با آن آشنا میباشند و معنی آنهم کاملاً واضح و آشکار: آنها، شکل سیم را درلحظه‌ای از زمان نشان میدهند و مثل آنست که در آن لحظه از جریان نوسان عکس برداشته باشیم. شکل نوسانات سیم به عده گره‌های k یا نقطه‌هائی بستگی دارد که در جریان نوسان هم‌چنان بدون حرکت بر جای خود میمانند. از اینرو

نیز حل $U = U_k(x)$ دارای جواب بی‌نهایت زیاد خواهد بود که تفاوت آنها بر حسب تعداد گره‌های k میباشد.

اکنون به این تصویر توجه کنید که در کنار سینوسوئید سیم $U_k(x)$ جوابهای $\psi = \psi_n(x)$ معادله شردینگر برای اتم هیدروژن رسم شده است. آنها خیلی بهم شباهت دارند. و حتی اگر هیچ نوسان واقعی همانند حرکت سیم در اتم صورت نپذیرد، باز هم بمفید بودن این قیاس هیچ لطمه ای وارد نمیاید.

قیاس سزبور امکان میدهد که جوابهای $\psi_n(x)$ را با عدد صحیح n شماره بندی کنیم درست همانطوریکه جوابهای $U_k(x)$ را باعدد صحیح k شماره بندی کردیم. بعلاوه معلوم گردید که عدد صحیح n همان عدد کوانتائی است که نامفهوم بود و بوهر مدارهای الکترون را در اتم با آن شماره بندی کرده بود. اکنون دیگر معنای معماآمیزش را از دست داده است: n چیزی نیست مگر عده گره‌های تابع موجی، که یک واحد بزرگ شده است ($n = k + ۱$).

نخستین اصل مسلم بوهر با یکنوع «اراده» الکترون‌هارا موظف میساخت که فقط بر آن مدارهائی از اتم حرکت کنند که شرایط کوانتائی را تامین سازد:

$$mvr = n \frac{h}{۲\pi}$$

این اصلی بود پر ثمر ولی برای فیزیک غیر طبیعی و بهمین علت هم در بین معاصرین موجب یک نوع شعف توام باعدم رضایت گردید. خواست‌های شردینگر بمراتب طبیعی تر بود: الکترون هر قدر هم حیله گرانه در اتم حرکت کند، در هر صورت باید در درون اتم قرار داشته باشد. بنابراین تابع ψ که «نمایانگر» این حرکت است باید صرف نظر از طبیعت خود در نزدیکی هسته تمرکز یافته باشد. این یگانه شرط محدود کننده بود که استخراج کلیه شرایط کوانتائی بوهر، انرژی الکترون در مدارهای ثابت و معنای عدد کوانتائی را از معادله شردینگر ممکن ساخت.

سادگی این نتایج تئوری شردینگر عده زیادی را بموقع خود مفتون ساخته بود. بمعادله شردینگر معتقد گشتند و شروع کردند بروشن ساختن آخرین مطلب یعنی اینکه خود تابع ψ چه را میرساند.

بدین معنا که اگر تابع $U_k(x)$ نمایانگر شکل سیم، در حال نوسان بود، پس ψ چه را مینمایاند؟

شکلی که تابع ψ مینمایاند

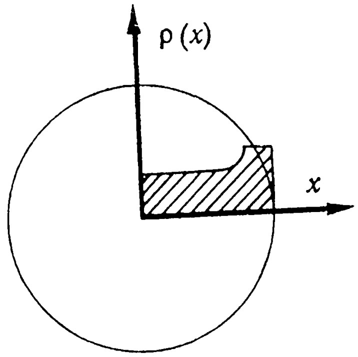
این یکی از مشکل ترین سؤالات مکانیک کوانتائی است که حتی خود شردینگر نیز در ابتدا پاسخ صحیحی برای آن نداشت. اما پاسخ او بقدری مناسب و نزدیک به حقیقت بود که ما ناچار در مراحل اولیه از آن استفاده میکنیم. پاسخ او چنین بود:

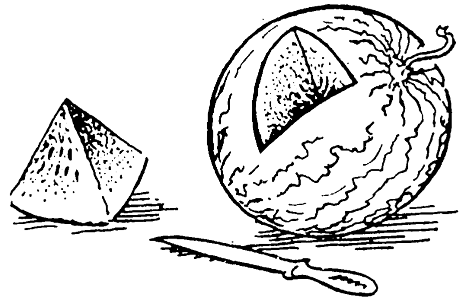
وجود الکترون در اتم بمثابه ذره‌ای نیست. او در آنجا بصورت ابری درمیاید. شکل و تراکم این ابر برحسب تابع موجی $\psi(x)$ تعیین میشود که ضمناً در فاصله x از هسته مقدار تراکم $\rho(x)$ ابر الکترونی معادل مجذور این تابع میباشد:

$$\rho_n(x) = |\psi_n(x)|^۲$$

برای روشن ساختن این فکر بار دیگر به همان هندوانه‌ای که در آغاز داستان مکانیک کوانتائی از آن سخن گفتیم باز میگردیم و سعی میکنیم در روی شکل میزان تراکم $\rho(x)$ آنرا متناسب با تغییر فاصله x از مرکز هندوانه رسم نمائیم. لابد تابع $\rho(x)$ برای هندوانه همه‌جا تقریباً ثابت است و فقط در حواشی کمی افزایش مییابد که آنهم بعلت وجود پوست و تخمه‌های آنست و سر انجام بیکباره در حد هندوانه قطع میشود. با ملاحظه این شکل که رسم کردیم هر کس اگر حتی یک بار هم هندوانه را ندیده باشد معذلک میتواند بطور شماتیک وضع درونی آنرا پیش خود مجسم سازد. البته واضح است که در اینصورت او کوچکترین تصوری از طعم و مزه، رنگ و هزاران علامت دیگر که هندوانه‌ها را از هم متمایز میسازد نخواهد داشت.

وقتی ما تلاش داریم از درون اتم چیزهائی بدانیم درست همانند





آن شخصی هستیم که در زندگی هندوانه ندیده و اکنون میخواهد از روی تابع $\rho(x)$ آنرا پیش خود مجسم نماید. تابع $\rho(x)$ برای اتم از روی معادله شردینگر محاسبه میشود و سپس بکمک آن پخش ابر الکترونی در اتم رسم میشود. این تصاویر برای ما جایگزین همان شکل باصره‌ای اتم میگردد که همه ما بی‌اختیار برای آن میکوشیم.

در صفحات ۲۳۸ و ۲۳۹ تصاویر مجسمی از اتم هیدروژن داده شده است که طبق تابع $\rho_n(x)$ بنا گشته که از معادله شردینگر محاسبه شده است. این همان شکل تازه اتم است که ما مدتها در پی آن بودیم و حالا باید بدان خو گرفت. در آینده بنای آن فقط کمی تغییر خواهد کرد، و یا صحیح‌تر بگوئیم خود آن تغییر نمیکند بلکه مناسبات ما با آن کمی تغییر میکند.

اما مشکل‌ترین قسمت هنوز در پیش است و بهتر است در نتیجه گیری عجله بخرج ندهیم. قبل از هرچیز اکنون دیگر سؤال «اتم چیست؟» را مجدداً تکرار میکنیم اما اینبار درسطح بالاتری.

اتم

مدل اتم تمسون را بخاطر آوریم: یک گویچه بزرگ مثبتی بود که در آن الکترونهای کوچک منفی شناور بودند.

اما در حقیقت معلوم شد که همه چیز بکلی برعکس است: در مرکز اتم هسته بسیار کوچک مثبت محاط از یک ابر الکترونی منفی قرار دارد. شکل این ابر آزادانه نیست بلکه قانون مکانیک کوانتائی دقیقا آنرا تعیین مینماید. البته این بصورت گویچه‌ای با حدودی مشخص

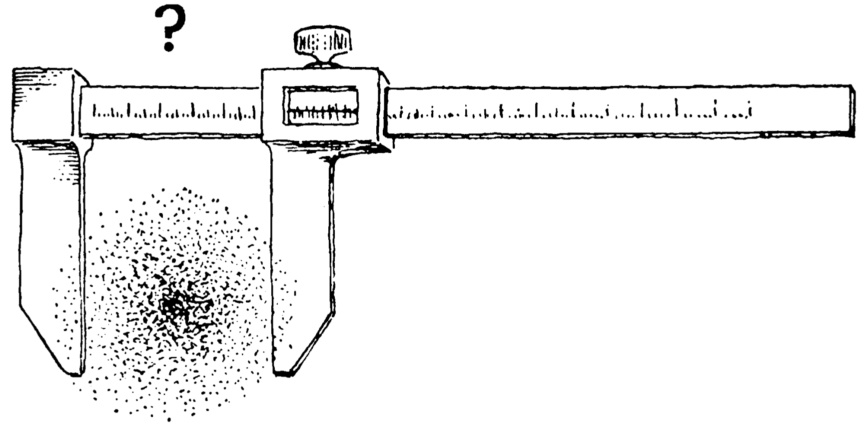
نمیباشد، اما روی همرفته در اتم تحریک نشده هیدروژن بسیار به گویچه شباهت دارد. (دمکریتوس درست آنرا حدس زده بود).

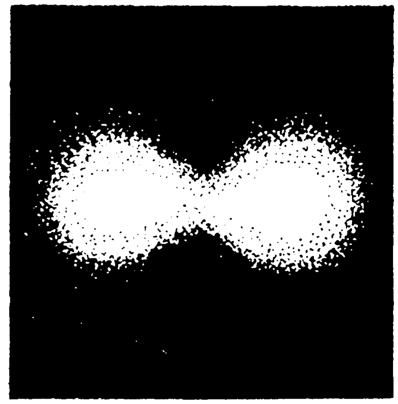
لیکن در اتم‌های تحریک شده شکل کروی تغییر مییابد و هر قدر اتم شدیدتر تحریک شود همانقدر هم این تغییرات بزرگتر خواهد بود.

برای تحریک اتم ما صرف انرژی میکنیم که بکار تجدید ساختمان ابر الکترونی میرود. هر شکلی از ابر با انرژی کاملاً معین مطابقت دارد. بنابراین برای انتقال اتم از یک شکل بشکل دیگر ما باید مقدار انرژی کاملا حساب شده‌ای مصرف نمائیم معادل $h(\nu)$ کوانت که دومین اصل‌مسلم بوهر نیز خواهان آن بود.

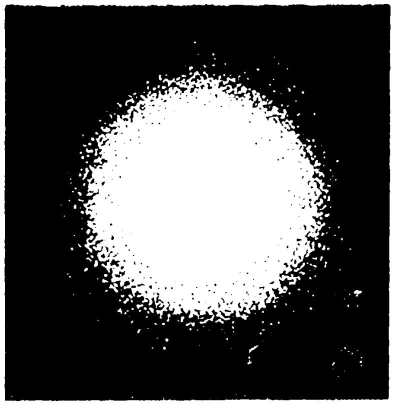
تا بحال ما عالماً عامداً فقط از اتم هیدروژن سخن گفته‌ایم. در واقع این یگانه اتمی است که اکنون فیزیک‌دان از تمام جزئیات آن مطلع است و میتواند شکل قرین بحقیقت آنرا مجسم سازد. اکنون این دیگر برای هر کسی با احتمال کم و بیشی معلوم است. اما درسالهای اول پس از ایجاد مکانیک کوانتائی، شوروشوق پیروز مندان چنان اوجی داشت که اجداد و نیاکان اتم یعنی شیمی را بکلی بدست فراموشی سپرده بودند. آنها که از همه شوق و ذوق بیشتری داشتند میگفتند: «شیمی از نقطه نظر فیزیک وجود ندارد. بار الکتریکی هسته‌را بما بدهید، تا ما چنان پوستین الکترونی بر آن بپوشانیم که این اتم دست ساخت ما را نتوان از اتم واقعی تمیز داد».

واقعاً هم دست بکار ساختن آن گشتند — ولی دیدند که بدون شیمی غیر مقدور است. در همان آغاز کار در آزمایش لیتیم باصطلاح

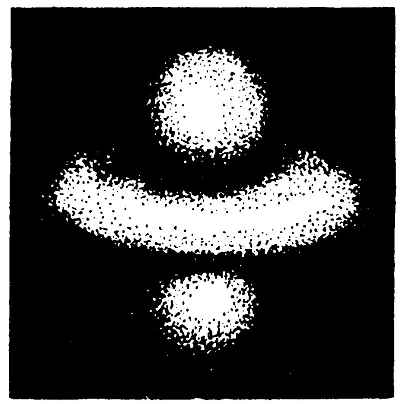




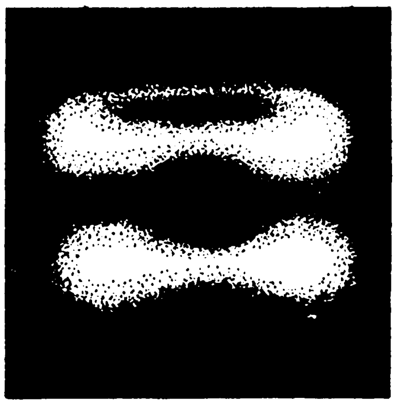
۲pσ n=۲ l=۱ m=۰



۱sσ n=۱ l=۰ m=۰



۳dσ n=۳ l=۲ m=۰

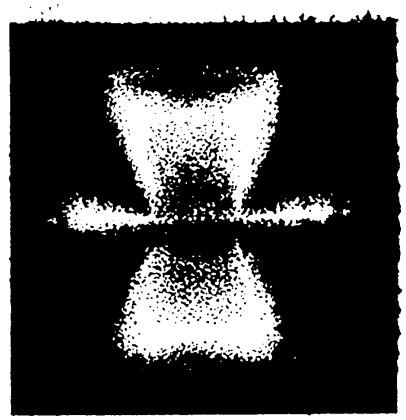


۳dπ n=۳ l=۲ m=۱

سکندری رفتند و بجای آنکه دو الکترون روی نخستین غشاء و سومی را روی دومین قرار دهند، هرسه الکترون آنرا روی یک غشاء جای دادند. اما در نخستین سالهای اعتلاء چنین اشکالات جزئی فوراً برطرف میشد.

راه حل را درست وقتی پیدا کردند که به سیستم تناوبی عناصر مندلیف توجه کردند که قبلا نیز بارها فزیک‌دانان و شیمیدانان را نجات داده بود. در واقع هم اگر خواص شیمیائی مواد وابسته به الکترونهائی میباشد که هسته را در احاطه خود دارند پس تناوبی بودن خواص شیمیائی عناصر مستقیماً نشان میدهد که موقعیت الکترونها در اتم اتفاقی نبوده بلکه گروهی غشائی میباشد. کاملاً منطقی بود تصور شود که تعداد الکترونها در هر غشاء مقارن با طول دوره‌های جدول مندلیف میباشد. ولفگانگ پائولی درست همینطور عمل کرد.

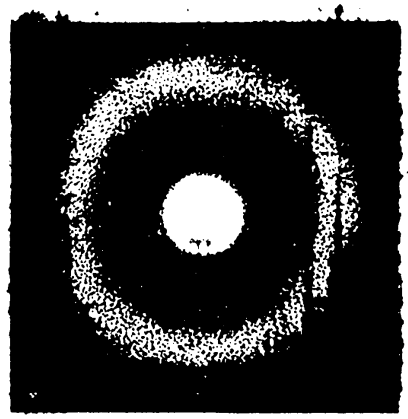
تنها پس از این بود که ساختن اشکال اتم نه فقط هیدرژن بلکه اتم‌های بغرنج‌تری ممکن گشت. روی همرفته شکل ابرهای الکترونی



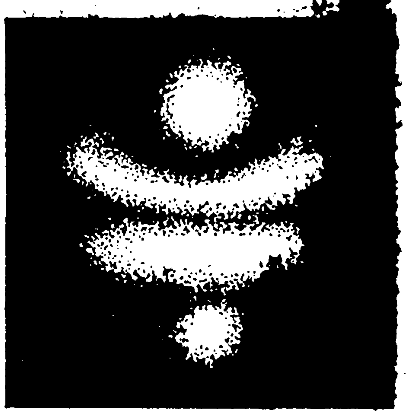
٤fπ n=٤ l=٣ m=١



٤fσ n=٤ l=٣ m=٢



٢Sσ n=٢ l=٠ m=٠



٤fδ n=٤ l=٣ m=٠

در اتمهای سنگین فرق زیادی با آنچه ما رسم کردیم ندارد. اما محاسبه دقیق آن پس از آثار دانشمند انگلیسی دوگلاس هارتری و فیزیک‌دان شوروی ولادیمیر آلکساندرویچ فوک ممکن گردید. این مسئله بسیار غامض بود که حتی ماشین‌های محاسبه معاصر هم بعضی اوقات از عهده آن بر نمیایند.

وقتی از فرم اجسام سخن در میان است معمولاً فکر میکنیم که ابعادی هم باید داشته باشد. در صورتیکه این همیشه هم صحیح نیست، گوی بلیارد هم فرم داود و هم ابعاد، اما از ابعاد ابرها سخن گفتن کار مشکلی است اگرچه در فرم آن معمولاً شکی نداریم.

غیر منتظره‌ترین نتیجه مدل جدید اتم عبارت از آنست که: اتم ابعاد هندسی ندارد. و یا بدیگر سخن، حدود اتم را فقط بطور شرطی میتوان نشان داد و درست همانطور هم شکل ابرها را. ما ناچار بودیم این نتیجه مدل نوین اتم را بپذیریم زیرا برای بیان خواصی که

در اجسام مشاهده میکنیم لازم بود، مثلاً گوناگونی اشکال هندسی بلورها. این نباید باعث شگفتی خاصی در ما شود، زیرا خانه از آجرها ساخته شده و ما ابداً حیرت نمیکنیم که آجرها خانه‌های مینیاتوری نبوده بلکه فقط آجرند. اجسامی که ما را احاطه کرده‌اند هر یک دارای رنگ، بو و ابعادی هستند، اما اتم‌هائی که این اجسام‌را تشکیل داده هیچیک از این کیفیت‌ها را دارا نمیباشند. آنها فقط دارای یک خاصیت تغییرناپذیرند که آنهم جرم آنهاست. اما فرم لایتغیر وجود ندارد. تغییرناپذیر فقط قوانین مکانیک کوانتائی هستند که این فرم‌ها‌را اداره میکنند.

اما پس چرا اتم که ابعادی ندارد این چنین پایدار است؟ اینهم نباید مارا بحیرت اندازد: آخر زمین هم که روی سه نهنگ قرار نگرفته است، در صورتیکه ملیونها سال است که در فضا معلق است و مدار خود را بطور تغییرناپذیر حفظ کرده است. سر پایداری آن در حرکات آن و در تغییرناپذیری قوانین دینامیک است که این حرکات را اداره میکنند. علت پایداری اتم نیز همین است اگرچه قوانین اداره‌کننده حرکات الکترون بهیچوجه بقوانین مکانیک نجومی شباهت ندارد.

(عادلانه خواهد بود اگر با خرسندی یادآور شویم که پایداری کوانتائی بمراتب معتبر‌تر از پایداری مکانیک کلاسیک میباشد. زیرا اتم اگر مختل شود میتواند ساختمان خود را احیاء کند، در صورتیکه اگر مدار زمین را بناگاه جسم خارجی فضائی مختل سازد، هرگز بحال خود باز نخواهد گشت.)

اتم‌های عناصر گوناگون برحسب جرم و بار هسته از یکدیگر متمایز میگردند. اما دو اتم یک عنصر را چگونه از هم فرق بگذاریم؟ برای هندوانه‌ها چنین سؤالی مطرح نمیشود زیرا هیچگاه کسی دو هندوانه کاملاً یکجور ندیده است. تمیز یک آجر از آن دیگری بمراتب مشکل‌تر است، ولی اینکار در شرایط شکسته بودن آجرها خیلی سهل‌تر میشود.

در مسئله اتم هم درست همینطور است. اگر جرم و بار هسته آنها مساوی باشند، آنگاه فقط از روی شکل ابرهای الکترونی که بستگی بمیزان تحریک شده بودن اتم‌ها دارد میتوان آنها را از هم فرق داد. کلیه اتمهای تحریک نشده یک عنصر هیچ فرق با یکدیگر ندارند،

هم‌چون آجرهای یک قالب. نقش این قالب را در اتم همان قوانین مکانیک کوانتائی بازی میکند که لا یتغیر بوده و برای کلیه اتمها یکسان است.

تصاویری که از اتم در این صفحات ملاحظه میکنید معرف سطح دانائی کنونی ما از آن است. این همان شکل معاصر اتم است که جایگزین مدلهای دمکریتوس، تمسون و بوهر گردیده است. البته این «تصاویر» کنونی را هم نباید هم‌چه سوبمو پنداشت، این بهیچوجه «عکسی که از اتم برداشته شده باشد» نظیر آنچه از نوسان سیم عکسبرداری کردیم نیست. نه دستگاه‌های ساده و نه بغرنجترین آنها قادر نیستند مستقیماً موقعیت تراکم الکترونی درون اتم را اندازه‌گیری کنند. زیرا اینکار لاجرم به مختل ساختن آن منجر میشود (حتی در هندوانه هم برای آنکه کیفیت آنرا بیازمائیم، نا چاریم مقدمتاً آنرا قاچ کنیم). با همه این، ما دلایل زیادی در دست داریم که بمناظر بدست آمده اعتماد داشته باشیم: بکمک آنها ما میتوانیم بطور پیگیر کلیه تجربیاتی را که شکل کنونی اتم را بما داده‌اند توضیح دهیم.

حالا دیگر تعجب نخواهیم کرد که ذره — α در تجربه رزرفورد بدون بر خورد بمقاوست از میان میلیاردها اتم میگذشتند هم‌چنانکه از خلاء گذشته باشند. آخر زمین هم هنگام عبور از دنباله ستاره دنباله‌دار از مدار خود منحرف نمیگردد. مکانیسم پدیدار گشتن خطوط طیفی هم باید برای ما مفهوم باشد، چون ساده است که وقتی اتم با جهشی فرم موقعیت ابر الکترونی را تغییر میدهد، ویک کوانت انرژی متشعشع میگردد. اکنون باید شکافتن بسامد خطوط طیفی را در میدان الکتریکی (اثر اشتارک) و در میدان مغناطیسی (اثر زیمن)* را بفهمیم که ابر الکترونی شارژ داشته وتحت تاثیر میدانها فرم‌های مختلف آن تا اندازه‌ای تغییر میکنند و بموازات آن انرژی کوانت بدان

---

*اثر زیمن — خاصیتی است که وقتی جسمی را که طیف خطی منتشر میکند در یک میدان مغناطیسی قوی قرار دهیم هر یک از خطوط به چند خط نزدیک بهم تجزیه میشود. م.

میزان تغییر میبابد که برای رساندن ابری از یک فرم به فرم دیگر و به بسامد v خط طیفی متناسب با آن کوانت لازم می آید. با استفاده از معادله مکانیک کوانتائی میتوان این قضاوتهای ساده کیفی را با محاسبه دقیق تایید کرد و مطمئن گشت که منطبق بر واقعیات تجربی میباشند.

اما اکنون فهمیدن مطلب دیگری برای ما مهم است و آن اینکه چرا ما اطمینان داریم شکل اتم که ساخته ایم با واقعیت وفق میدهد؟

حقیقت کوانتائی

قبل از هر چیز ببینیم صحبت از چه حقیقتی است؟ و در مکانیک کوانتائی از کلمه حقیقت چه درک میکنیم؟ اگر صحبت از هندوانه بود، همه چیز ساده میبود. مثلاً ما فوراً میگفتیم که تنها دانستن توزیع تراکم درونی هندوانه برای دانستن حقیقت آن کافی نیست و این تا حقیقت آن فرسنگها فاصله دارد. فقط وقتی که هندوانه را از نزدیک مشاهده کردیم، بدان دست زدیم و خوردیم، آنوقت بالاخره میتوانیم بگوئیم هندوانه چه خصایلی همراه دارد. تازه بعقیده اکثریت مردم همه اینها برای دانائی کامل دانشمندان فقط جنبه مقدماتی دارد. زیرا آنان کار را از اینجا شروع میکنند که آنرا زیر میکروسکپ گذاشته و میگویند از سلول تشکیل شده است. کمی بعد اعلام میدارند که سلولها نیز از ملکول و ملکول هم از اتم ساخته شده است... دایره مسدود میگردد. برای آنکه از عاقبت هندوانه مطلع شویم باید مجدداً به سؤال «اتم چیست؟» پاسخ دهیم.

در واقع امر کارها اینقدرها هم خراب نیست: مفهوم «هندوانه» قرنها قبل از پیدایش هر علمی صورت پذیرفته و آنقدر به پیشرفتهای گذشته و آینده آن بستگی ندارد، زیرا فقط متکی بر محسوسات ماست. این مفهوم فقط وقتی میتواند تغییر یابد که ناگهان عموم مردم جهان دارای یک حس دیگر یعنی حس ششم گردند. وقتی قبول داریم که چنین حادثه‌ای غیر واقعی است آنوقت با خیال راحت میگوئیم تمام حقایق هندوانه را میدانیم، بشرط آنکه در معرض آزمایش حواس پنجگانه خود قرارش بدهیم. (بخاطر بیاورید که شما چگونه هندوانه خریداری

میکنید، ابتدا از دور یکی را در نظر میگیرید، سپس در دست گرفته سبک و سنگین میکنید، گاهی هم جلوی گوش فشاری میدهید تاصدای قرچ و قرچ آنرا بشنوید، و سر انجام قاچش کرده و مزه‌اش را میچشید).

آیا با همین اندازه و معیار میتوان به مفهوم «اتم» برخورد کرد؟ تعداد تجربیاتی که بر اساس آنها ما شکل و مفهوم «اتم» را میسازیم بیحد و حصر است و در اصل هم هر یک از آنها چیز تازه‌ای هر قدر هم کوچک باشد باز بمعلومات ما میافزاید. ما که نمیتوانیم در این راه متوقف شویم و بگوئیم «دیگر تجربه برای ما کافی است، ما برای خود شکل اتم را بنا کرده‌ایم و تجربیات بعدی فقط میتواند آنرا ضایع کنند». اما اینطور نیست، برعکس ما از هر تجربه نوین مشعوف میگردیم بویژه اگر آن تجربه در چهارچوبه آن شکلی که ما فکر کرده‌ایم نگنجد. درست چنین تجربیاتی بود که بما کمک کرد از اتم بمثابه گویچه سختی صرف نظر کنیم و مدل معاصرتری بسازیم. پس چرا حالا ما اطمینان داریم که شکل کنونی اتم با حقیقت وفق میدهد؟

باید اعتراف کرد که فیزیک دانان هیچ چنین اطمینانی ندارند. اما در عوض آنها وجداناً و با شایستگی میتوانند بگویند که: «طی صد سال اخیر یک تجربه هم صورت نگرفته است که با منظره‌ای که ما ساخته‌ایم تناقض داشته باشد. از اینرو بهتر آنست که نه از حقیقت بلکه از ثمربخشی سخن گوئیم که تا چه حد آن میتواند بما کمک کند که خود ویژگی پدیده‌های اتمی‌را توضیح داده و پیشگوئی کنیم».

در اینجا ازیک چیز شگفت انگیز پرده برداشته میشود: آنچه برای ما لازم است بدانیم این نیست که «اتم واقعاً چگونه بنظر میاید». برای ما کافی است معادله مکانیک کوانتائی و قواعد کار با آنرا بیاموزیم. پس از آنست که ما میتوانیم همه چیز را از قبل بگوئیم: رنگ جسم هنگام گرم شدن چگونه تغییر مینماید، چه خطوط طیفی در اینحال پخش میکند و اگر این جسم را در میدان الکتریکی و یا مغناطیسی قرار دهیم چگونه طول موج خطوط طیفی آن تغییر خواهد کرد. ما میتوانیم فرم بلورها، ظرفیت دمائی و قابلیت رسانائی آنهارا پیشگوئی کنیم. ما بالاخره میتوانیم مرکز برق اتمی، کشتی اتمی

بسازیم که بخوبی کار کنند. و همه اینهارا بدون کمترین استناد به «حقیقت» شکل اتم انجام میدهیم.

بر این اساس است که بسیاری معتقدند که در مکانیک کوانتائی بطور کلی احتیاج به تجسم ذهنی نیست. مفید بودن چنین افراطی را میتوان مورد اعتراض قرار داد، اما بدون چون و چرا امکان آنرا نمیتوان رد کرد. هواداران اقدامات افراطی برای سؤال «اتم چیست؟» پاسخ کوتاهی دارند: «اتم سیستم معادلات دیفرانسیل است». متاسفانه در این شوخی حقایق زیادی نهفته است. «اتم هندوانه» در مقایسه با خود هندوانه از لحاظ خواص بسیار فقیر است. تازه همین خواص هم آنقدر متضادند که اتحاد و یکجائی آنها بدون زورگوئی به منطق و عقل سلیم عجالتاً فقط در معادله مکانیک کوانتائی ممکن است.

مکانیک کوانتائی — یک طرح ریاضی است که محاسبه مشخصات فیزیکی پدیده‌های اتمی مورد اندازه‌گیری را ممکن میسازد: سطح انرژی اتمها، شدت و بسامد خطوط طیفی و شکافت آنها در میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و بسیار چیزهای دیگر.

اگر وظیفه فیزیک بهمین خاتمه مییافت، آنوقت ساختمان مکانیکی اتم را میشد پایان یافته تلقی کرد. اما از فیزیک میخواهند که چیز بیشتری یعنی منظره صحیح جهان را بما بدهد. این بویژه برای کسانی جالب است که در فیزیک وارد نبوده و با فرمولهای مکانیک کوانتائی آشنا نیستند و چیزی از آنها سر درنمی‌آورند. برای آنان زبان اشکال و مفاهیم یگانه وسیله نفوذ در ژرفای اتم است. ما نیز این راه را از دوران دسکریتوس طی کردیم و بد هم پیش نرفتیم و اکنون نیز منظره قابل قبول از اتم را برای خود ترسیم کرده‌ایم. لکن برای تکمیل آن فقط باید چند خطی اضافه شود.

مطلب در اینستکه ما حالا ثنویت «موج — ذره» راکه خاصیت اصلی کلیه پدیده‌های اتمی است میدانیم. اما بالاخره خود الکترون آیا ذره است؟ ما اکنون به افراط دیگری سر خورده‌ایم وتصدیق کرده‌ایم که الکترون در اتم یک ابر شارژداری است. این منظره برای فهمیدن اکثریت تجربیات مناسب است اما بکمک آن مثلاً پدیده اثر نورابرقی را نمیتوان فهمید. حقیقتاً هم هرگز کسی ندیده است که از اتم

یک تکه ابر الکترونی جهیده باشد، زیرا همیشه الکترون واحدی میجهد نه حصه‌ای از آن. پس تجمع آنی ابرهای مختلف الشکل اتم همیشه در همان یک ذره تقسیم نا پذیر چگونه صورت میگیرد؟

برای پاسخ دادن به این سؤال باید مفهوم جدید حساب احتمالات* را بمیان کشیم. این مفهوم بقدری بنیادی است که مکانیک کوانتائی معاصر بدون آن بطور کلی وجود ندارد. اکنون ما آنرا بررسی خواهیم کرد.

حیات...

روجر یوزف بسکویچ (۱۷۱۱ — ۱۷۸۷) امروزه فقط در محافل محدود کارشناسان معروفیت دارد، در صورتیکه در آغاز سده گذشته، شهرت داشت و تئوری اتمی او حتی روی جهان بینی اشخاصی مثل فارادی و ماکسول تاثیر گذاشته بود.

بسکوویچ در شهر دوبروونیک (در آن زمان راگوسا نامیده میشد) واقع در دالماسی متولد شد و ایام کودکی را در آنجا بسر برد. او فرزند هشتم از نه فرزندان و کوچکترین پسر از شش پسر خانواده بازرگان ثروتمندی بود. آن زمان دورانی بود که برای فعالیت مردم فقط وقتی معنا و ارزشی قایل میشدند که صرف کلیسیا و یا امور مربوط به آن شده باشد. بسکوویچ از ۸ سالگی در مدرسه محلی عیسویان شروع به تحصیل کرد و در ۱۴ سالگی به زادگاه مادرش، یعنی رم رفت، و پس از گذراندن یک آزمون دوساله بکالج رومانوم پذیرفته شد. در آنجا از لحاظ ریاضیات، فیزیک و اخترشناسی از شاگردان

---

*احتمال عبارتست از نسبت حالت مطلوب بکلیه حالات ممکن و محدود. م.

برگزیده بود و در سال ۱۷۳۶ نخستین اثر علمی خود را درباره خط استوای خورشیدی و دوره چرخش خورشید منتشر ساخت. در ۲۹ سالگی معلم شد، در ۳۳ سالگی کشیش و عضو انجمن عیسوی گردید. طی ۱۴ سال هم بکار تدریس فیزیک و ریاضیات مشغول بود و هم کجراهی* نور و فرم زمین‌را مطالعه میکرد و نقشه واتیکان را تهیه نمود.

بسکوویچ فقط دانشمند نبود، او در عین حال شاعر هم بود (در سال ۱۷۷۹ دو منظومه برای لوئی ۱۶ نوشت که در آن برای وی سلطنتی بدون کسوف پیش‌بینی میکرد.) خصوصیات برجسته و روشن‌ضمیری و هوش فوق‌العاده‌اش راه او را در میان محافل عالیمقام روحانی، آکادمسین‌ها و سیاسیون اروپا باز کرد.

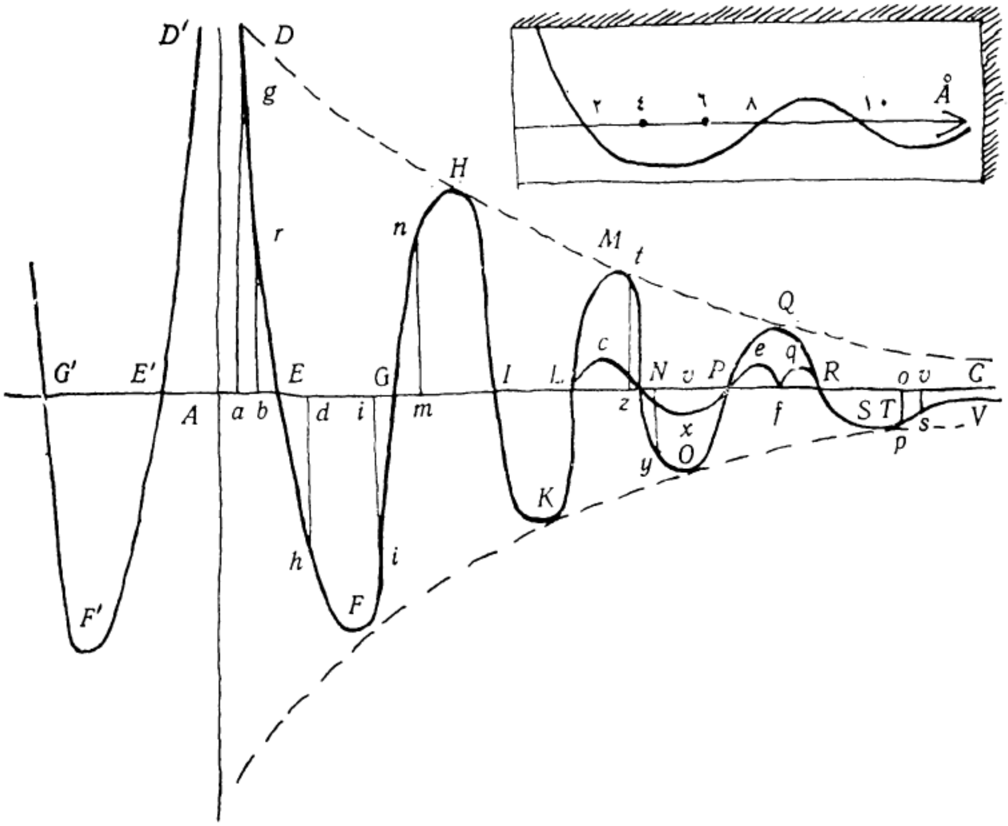
درسال ۱۷۵۷ بعنوان کارمند سفارت به وین رفت و طی ۱۱ ماه کتاب «تئوری فلسفه طبیعی» را که ۱۲ سال در باره‌اش فکر کرده بود برشته تحریر در آورد. پس از مراجعت از وین عازم یک جهانگردی ۴ ساله از پاریس، لندن و قسطنطنیه گردید، سپس به سخنرانی‌های علمی پرداخت و در رصدخانه میلان مشغول کار شد. نظریات مستقلانه‌اش مورد تنفر همکارانش بود، در سال ۱۷۷۲ سر از شهر ونیز درآورد در حالیکه وسیله‌ای برای امرار معاش نداشت. دوستانش محلی در پاریس برایش دست و پا کردند که ۱۰ سال در آنجا بسر برد و فقط در سال ۱۷۸۳ به ایطالیا بازگشت تا آثارش را بچاپ رساند. در سال ۱۷۸۶ بود که آثار اختلال حواس در او ظاهر شد که منجر به بیماری مالیخولیائی گردید. پس از چند بار تلاش برای خودکشی بالاخره دیوانه شد و ۱۳ فوریه سال ۱۷۸۷ از مشقات زندگیش رهائی یافت و چشم از دنیا پوشید.

...و اتم بسکوویچ

از میان تعداد معدود کسانی که در قرن ۱۸ اتم‌را قبول داشتند، تنها بسکوویچ بود که اتم را بمثابه گویچه سختی نمیپذیرفت. از

---

* کجراهی — تغییراتی که در وضع ظاهری ستارگان یا اجسام سماوی دیگر دیده میشود و ناشی از حرکت ناظر با زمین است. م.



اینرو عقاید او نسبت به دیگر تئوری‌ها اتمی قرن ۱۹ بما نزدیکتر است.

بسکوویچ عدم اعتقاد خود را نسبت به نافشردگی گویچه اتم بر این مبتنی میکرد که با چنین اتمی ساختمان بلوری اجسام، قابلیت ارتجاعی آن‌ها، ذوبان اجسام سخت، تبخیر مایعات را نمیتوان توضیح داد و البته هم‌چنین فعل و انفعالات شیمیائی بین مواد را با چنین گویچه‌های کروی، سخت وغیر قابل نفوذ چگونه میتوان توجیه کرد.

بسکوویچ اتم را بمثابه مرکز نیروهائی پیش خود مجسم میکرد که مقدارشان برحسب فاصله آنها از این مرکز تغییر میکند. نیروی وازنش در نزدیکی مرکز متناسب است با دفع اتمها در حال بسیار نزدیک شدن و یا تصادم آنها بیکدیگر، هنگام دور شدن از مرکز ابتدا نیروی وازنش تقلیل یافته سپس سوی صفر رفته و سر انجام بصورت جاذبه در میاید و بقول بسکوویچ درست در این لحظه است که مواد یا بصورت مایع و یا جامد در میآیند. اما اگر بازهم از مرکز نیرو دور شویم، آنگاه نیرو مجدداً بصورت وازنش در میاید و در

این لحظه است که مایع تبخیر میشود، و نیروهای بکلی دور از اتم همواره جاذبه هستند همچنانکه لازمه قانون جاذبه عموسی نیوتن میباشد.

بدین ترتیب هر اتم بسکوویچ «تا نزدیکی مرز منظومه شمسی گسترش مییابد» و مادام که مرکز نیرو را نمیتوان نه معدوم کرد و نه ایجاد کرد، پس اتمهای او جاویدانند همانطور که اتمهای دمکریتوس. درست همین قسمت از آموزش بسکوویچ بویژه باب طبع فارا دی بود: مشاهده شباهت این با آنچه فارادی درباره خطوط نیروی میدان الکترو مغناطیسی تصویر میداشت مشکل نیست.

اتم بسکوویچ بمراتب از اتم دمکریتوس به اتم معاصر نزدیک‌تر است. مثلا آن نیز همانند اتم معاصر دارای ابعاد معین هندسی نیست. در عوض بکمک آن میتوان فرم‌های گوناگون بلورها و کلیه تبدلات ممکنه شیمیائی را که در آنها اتم شرکت دارد فهمید.

به این تصویر که از کتاب بسکوویچ اقتباس شده است توجه کنید. در آن قانون تغییرات نیرو طبق تصورات خودش رسم شده است. البته اتم بسکوویچ یک طرح خیالی بود که نه به تجربه متکی بود و نه بریاضیات و فقط به عقل سلیم و توجه بر مشاهدات روی طبیعت اتکا داشت. خود بسکوویچ مینویسد: «اما اشیاء معینی وجود دارند که با قانون نیرو مربوط میباشند و همه ما نسبت به آنها جاهلیم. آنها به قوسها و دیگر اشیائی که بین آنها قرار داشته و از همان نوعند بر میخورند. لکن تمام اینها چنان بر تراز ادراکات بشری است که فقط او همانکه گیتی‌را آفرید هدف را در برابر دیدگان خود داشت».

در کنار این تصویر، قانون تغییرات نیرو که بین دو اتم هیدروژن عمل میکند رسم شده است. تشابه آن با تصویر بسکوویچ حیرت‌آور است. اما این قانون از روی معادلات مکانیک کوانتائی محاسبه شده است بدون هیچ گونه آزادی عمل و یا استناد به قدرت الهی. بکمک همین قانون نیرو است که ما میتوانیم طیف ملکول هیدروژن را پیشگوئی کنیم، میتوانیم مقدار انرژی لازم برای جدا کردن یک اتم هیدروژن را از دیگری محاسبه کنیم، میتوانیم پیش‌بینی کنیم که اگر هیدروژن مثلاً با کلر مخلوط گردد چه صورت

خواهد گرفت و اگر این مخلوط تحت تاثیر اشعه فرا بنفش قرار گیرد چه تغییراتی روی خواهد داد.

بوسیله مکانیک کوانتائی میتوان قانون تغییرات نیرو بین دو اتم دلخواه را محاسبه کرد. از لحاظ اصولی مکانیک کوانتائی قادر است فرم بلورها را حساب کند. حتی میتواند رنگ ترکیبات شیمیائی را پیشگوئی نماید. البته تمام اینها فقط برای کسی ممکن است که بقدر کافی بر ریاضیات مشکل فیزیک اتمی محیط باشد. اما فهم بسیاری از ویژگیهای ساختمان و خواص مواد برای همه ممکن است البته بشرط آنکه لااقل کمی با اشکال آنها آشنا باشد.

پائول ارنفست (۱۸۸۰ — ۱۹۳۳)

برای علم علاوه بر پیامبران، حواریون هم لازم هستند. علم علاوه بر نوابغ تک تک که مسیر آنرا تغییر میدهند، به اشخاصی هم احتیاج دارد که فروزش اجاق آنرا حفظ کنند و قادر باشند آنرا در قلوب نو هواداران بر افروزند. چنین اشخاصی در اطراف خود محیط معنوی زیبا و روحیه‌ای پر اعتلا بوجود میآورند که قریحه‌ها را بسرعت رشد داده و استعدادها را استحکام میبخشد. آرنولد زمرفلد در آلمان، پل لانژون در فرانسه، لئونید ایساکوویچ ماندلشتام در روسیه از جمله چنین دانشمندانی با خصوصیات نادر میباشند.

پائول ارنفست نیز چنین آدمی بود. او در وین متولد و بزرگ شد، در دانشگاه وین نزد لودویک بلتسمان و در دانشگاه گتینگن پیش فلیکس کلین تحصیل کرد. پس از پایان تحصیلات ٥ سال هم در روسیه زندگی کرد و در سال ۱۹۱۲ بنابه درخواست لورنس کرسی فیزیک نظری را در دانشگاه لیدن بجای او بعهده گرفت. او در آنجا طی ۲۰ سال هر روز سه شنبه‌ها سمیناری تشکیل میداد که دانشمندان بزرگ وبنامی که طی ربع قرن فیزیک‌را از نو بنانهاده بودند در آن شرکت جسته و در اطراف کارهای خود سخن میگفتند.

درهمین سمینارها بود که فرضیه اسپین الکترون پا بعرصه وجود گذاشت و ارنفست آنرا از خشت گرفت و پدر روحانیش خوانده

شد. او مبتکر وتشکیل دهنده مباحثه مشهور بین بوهر و اینشتین بود. او درمرکز «حوادث فیزیکی» آن دوران بسر میبرد و در امر پایان موفقیت‌آمیز آنها تاثیر فراوانی داشت .

ارنفست در زمره انسان‌هائی بود با کیفیات روانی نادر. همگان او را دوست داشتند: بوهر، پلانک، هیزنبرگ، پائولی، شردینگر اغلب از جمله مهمانان وی بودند. اینشتین به او مینویسد: «ما طبعاً برای یکدیگر آفریده شده‌ایم. من به دوستی تو بمراتب بیش از تو بمن احتیاج دارم». با همه اینها در اثر یک شکست روحی، در ۲۵ سپتامبر سال ۱۹۳۳ دست بخود کشی زد.

پائول ارنفست پس از خود چنان ایده‌های فیزیکی بجای گذاشت که اثراتش در خاطره شاگردانش و دوستانش زنده ماند. او توانست بر روی ورطه‌ای که پدیده‌های کوانتائی را در فکر معاصرینش از پدیده‌های کلاسیک جدا میساخت پلی بنا نهد. حقیقت قضیه‌ای که او ثابت کرد از اینقرار است.

ما مکرر در مکرر یادآور شده‌ایم که معادلات مکانیک کوانتائی بکلی با معادلات مکانیک کلاسیک فرق دارند. از اینرو هم حرکت سوژه کوانتائی را نمیتوان با اصطلا حات واشکال کلاسیک بیان داشت و مجسم کرد. تقریباً همینطور هم نمیتوان کلیه حرکات مسافری را که با کشتی در اقیانوس آتلانتیک حرکت میکند روی کره مصنوعی ثبت کرد. اما تلاطم‌ها هر طور هم کشتی را بجنبانند و مسافر هم بهر کاری مشغول باشد، در هر صورت بطور میانه طبق خط سیر معینی تغییر محل خواهد یافت.

اگر بگوئیم این چیزی شبیه به عالم کوانتائی است مسلماً حقیقت را زیر پا نگذاشته‌ایم. بگذار ما نتوانیم حرکات کوانتائی را تصور کنیم، بگذار معلوم نباشد که چگونه مختصات و تکان الکترون‌ها را باید فهمید. اما این کاملاً معلوم است که میزان میانه مقادیر کوانتائی از معادلات مکانیک کلاسیک تبعیت میکند. حقیقت اصل توافق که نیلس بوهر آنرا فرمولبندی کرد و پائول‌ارنفست در سال ۱۹۲۷ ثابتش کرد در همین است.

چندی بعد فیزیک‌دانان متوجه شدند که ارنفست چیزی بیش از توافق مکانیک کوانتائی و کلاسیک در حالت حدی را ثابت کرده است.

در واقع‌امر همیشه بی سرو صدا قبول داشتند و بسیاری هم هنوز با صدای رسا از آن دفاع میکنند که قوانین دینامیک مکانیک کلا- سیک — قوانین اولیه و واقعی بوده و قانونمندی‌های استاتیک مکانیک کوانتائی — قوانین درجه دوم است که بعلت دشواری خود ویژه سوژه‌های اتمی ما ناچاریم از آن‌ها استفاده کنیم. از آثار ارنفست نتیجه میشود که چنین اعتقادی (یا بهتر است گفته شود عقیده نا درستی) چیزی جز خیالات واهی نمیباشد، زیرا معادلات حرکت مکانیک کلاسیک حالت حدی است از معادلات کلی مکانیک کوانتائی.

فصل دهم

بازی «شیر یا خط» ◇ تیراندازی در میدان تیر ◇ پراش الکترونها ◇ امواج احتمالات ◇ موج الکترونی از چه تشکیل شده است؟ ◇ اتم ◇ احتمالات وطیف اتم‌ها ◇ سببیت و تصادفی بودن، احتمال و درستی

فرض کنید یک وقتی هنگام مسافرت با قطار از نووسیبیرسک به کراسنویارسک، با آدم بسیار خوبی آشنا شده باشید. حالا تصور کنید که پس از گذشت یک سال تصادفاً در مسکو در نزدیکی سینمای «راسیا» با او روبرو شوید. هر قدر هم که از این ملاقات شاد گردید، معذلک قبل از هر چیز حیرت زده خواهید شد زیرا به تجربه خود میدانید که چنین تصادفی چقدر بعید و دور از احتمال است.

ما همواره کلمات «احتمالاً»، «محتمل تر از همه»، «باتمام احتمالات» و «نامحتمل» را بکار میبریم بدون آنکه مفهوم معین و مشخصی از آنها در نظر بگیریم. اما در علم چنین کاری را نمیتوان کرد، بهمین جهت هم مفهوم «احتمال» فقط آنجا دارای معنی خواهد بود که آنرا بتوان محاسبه کرد.

البته این همیشه هم مقدور نیست، مثلاً نمیتوان احتمال ملاقات شما را با دوست تصادفیتان در ساعت ۱۸ روز ۲۳ اکتبر سال ۱۹۸۳ در پستخانه مرکزی شهر لیپتسک پیشگوئی کرد، اگرچه کاملاً روشن است که چنین احتمالی مساوی صفر نیست. اما اعمال مردم تصادفی نیست و تطبیق تئوری احتمالات بر آن کار صحیحی نیست. از اینروست که در کلیه کتب درسی قوانین تصادفات را بوسیله پرتاب سکه بهوا توضیح میدهند.

بازی «شیر یا خط»

قبل ز هر چیز به این نکته باید توجه داشت که: اگر آزمایش دارای چند نتیجه است پس احتمال صورت گرفتن حادثه‌ای برابر با

یکان خواهد بود. بنابر این عبارت «حادثه با احتمال یکان صورت میپذیرد» به این معنی است که حتماً صورت خواهد گرفت.

از اینجا هم‌چنین روشن است که: احتمال هر یک از نتایج کمتر از یکان است. مثلاً وقتی سکه‌ای را بهوا پرتاب کنیم، این آزمایش هر بار فقط دارای دو نتیجه خواهد بود یعنی سکه پس از سقوط یا خط بطرف بالاست و یا شیر (در اینجا این حالت استثنائی را که ممکن است سکه پس از سقوط یک پهلو بنشیند، در نظر نگرفته‌ایم). اگر در کار پرتاب سکه فوت‌وفنی بکار برده نشود، آنوقت منطقاً میتوان پیش‌بینی کرد هر دو نتیجه پرتاب دارای احتمال برابرند. از اینجا بلافاصله نتیجه میشود که احتمال آمدن مثلاً شیر برابر با $\frac{1}{2}$ میباشد.

اکنون حساب احتمال مثلا آوردن ۳ هنگام ریختن طاس نرد آسان است و آن برابر $\frac{1}{6}$ است.

هرکس بسهولت میتواند مثالهای نظیر را بیادآورد، اما همه آنها بسیار بهم شباهت دارند زیرا

اولًا — هر آزمایش بعدی (پرتاب سکه) به قبلی بستگی ندارد.

ثانیاً — نتیجه هر یک از پرتابها حادثه تصادفی است یعنی ما کلیه عللی را که آزمایش به این یا آن نتیجه منجر میگردد نمیدانیم (ویا نمیتوانیم بحساب آوریم).

این نکته اخیر دارای اهمیت ویژه‌ای است. در واقع، سکه مانند اتم نیست و حرکت آن از قوانین معروف مکانیک کلاسیک تبعیت میکند. با استفاده از آنها ما باید بتوانیم کلیه جزئیات حرکت سکه را پیش‌بینی کرده و از قبل بگوئیم که خط خواهد آمد یا شیر. حتی ما قادریم مسیر حرکت آنرا رسم کنیم. البته اینکارها بسیار مشکل است، چون باید مقاومت هوا، فرم سکه، قابلیت ارتجاعی زمین در محل سقوط سکه و خیلی چیزهای کوچک و مهم دیگر را در نظر گرفت. و مهمتر از همه باید حالت آغاز وتکان سکه را دقیقاً دانست.

اما بحساب آوردن کلیه عواملی که فکر کردیم روی نتیجه آزمایش تاثیر دارد همیشه کار آسانی نیست. در بازی «شیر یا خط» ما هیچ وقت حالت آغازی و سرعت آنرا دقیقاً نمیدانیم. هر گونه نقض این دو عامل حتی هر قدر هم کوچک باشد ممکن است نتیجه پرتاب

را در جهت عکس تغییر دهد. و آنوقت دیگر نمیتوان مطمئن بود که در اینصورت سکه پرتاب شده خط خواهد بود. فقط میتوان گفت: احتمال خط آمدن در هر پرتابی معادل $\frac{1}{2}$ است.

مثالهای سادهای که ذکر شد هنوز توضیح آن نیست که چرا مفهوم احتمال تا این حد در مکانیک کوانتائی اهمیت دارد. اما قبل از اینکه به توضیح آن بپردازیم، بدنیست گذرا هم شده با قوانین اصلی نظریه احتمالات آشنا شویم. قوانین تصادفات (صرف نظر از ترکیب حیرت آور این دو کلمه) همانند هر قانون ریاضی بسیار اکید است. لیکن آنها دارای خود ویژگیهای غیر عادی هستند که حیطه استعمالشان کاملاً معین است.

مثلاً اگرچه ما میدانیم احتمال سقوط خط در پرتاب سکه برابر $\frac{1}{2}$ است اما قادر به پیشگوئی نتیجه یک پرتاب مجزا نیستیم. ضمناً ما بسهولت میتوانیم مشاهده کنیم که در تقریباً نیمی از تعداد زیادی حادثه پرتاب خط آمده است و هر قدر تعداد آزمایش‌ها زیادتر باشد این قانون دقیقتر عملی میشود. خود ویژگی اصلی قانون حوادث تصادفی نیز در همین است که مفهوم احتمال بر حوادث مجزا قابل انطباق است و ما میتوانیم از قبل عددی را که با این مفهوم مطابقت دارد حساب کنیم. اما اندازه‌گیری این عدد فقط وقتی ممکن است که آزمایش‌های متحدالشکلی را بکرات تکرار کنیم.

این نکته بسیار مهم است که آزمایش‌ها همگی متحدالشکل باشند یعنی بهیچوجه از یکدیگر قابل تمیز نباشند و فقط در اینصورت است که عدد اندازه‌گیری شده‌یعنی احتمال‌را میتوان برای ارزیابی هریک از حوادث تصادفی بطور جداگانه بکار برد که عبارت خواهد بود از یکی از نتایج ممکنه آزمایش‌ها.

غیر عادی بودن خود ویژگی قوانین تصادفات دارای توضیحی طبیعی است. در واقع پرتاب سکه آنقدرها هم یک جریان سادهای نیست. ما نمیخواهیم و یا نمیتوانیم تمام مشکلات آنرا بیاموزیم. بهمین جهت هم عالماً عامداً از آنها چشم پوشی کرده و فقط بمسیر حرکت سکه چشم میدوزیم و میخواهیم نتیجه نهائی آزمایش را بدانیم. البته این-لاقیدی نسبت به جزئیات جریان نیز مفت تمام نمیشود. اکنون ما میتوانیم فقط نتیجه میانه آزمایشهای متحدالشکل متعدد را بدرستی

پیش گوئی کنیم و برای هر حادثه تصادفی مجزا قادریم فقط نتایج محتمله آنرا نشان دهیم.

این اشتباه محض است که تصور شود گوئی بیان حرکت از دیدگاه احتمالات نسبت ببیان تعللی و کلاسیکی با مفهوم مسیر آن کمتر کامل است. از نقطه نظر مکانیک کلاسیک واقعاً هم اینطور است. اما اگر ما از قسمتی از شرایط سخت آن (مثلاً از دانستن مختصات و تکان آغازی) سر باز زنیم، آنوقت دیگر بیان کلاسیکی بیفایده است و جای آنرا بیان احتمالاتی میگیرد و در شرایط جدید کامل و جامع خواهد بود زیرا کلیه اطلاعات از سیستمی را که ما بطور کلی بکمک آزمایش میتوانیم از آن بدست بیاوریم بما میدهد.

تیراندازی در میدان تیر

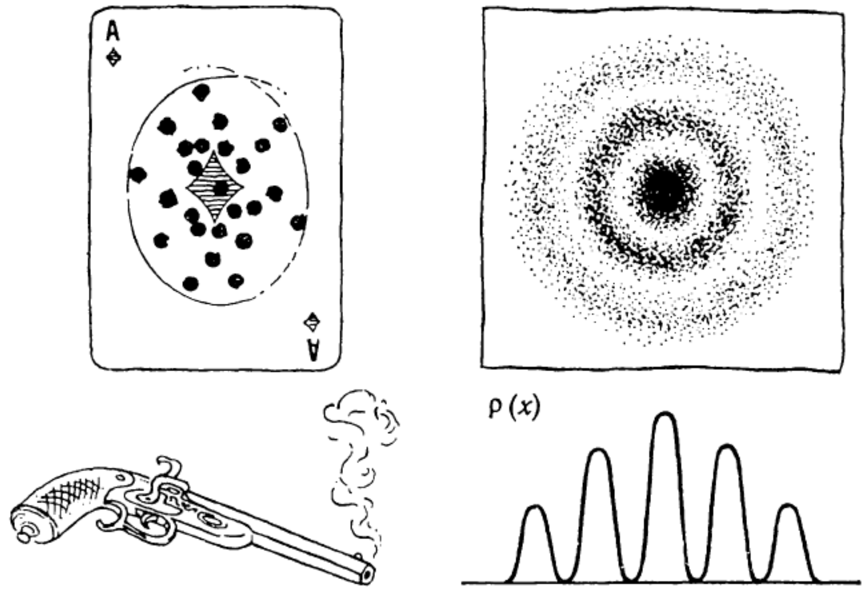
در بازی «شیر یا خط» ما عمداً نمیخواهیم حالت مبداء و سرعت سکه را بدانیم و تماماً تابع تصادفات میشویم اما در تیراندازی تمایلات چند دیگری برما مستولی میشود: و آن اینکه، ما همواره سعی داریم به وسط هدف اصابت کنیم. اما باوجود این اشتیاق (خیلی‌هم شدید) ما هرگز از قبل نمیدانیم هر یک از گلوله‌های ما بکدام نقطه هدف اصابت خواهد کرد. مجموعه نقاط اصابت در یک بیضی منظمی محاط میشوند که معمولاً «بیضی پراکندگی» نامیده میشود.

این بچه بستگی دارد؟

ظاهراً برای آنکه کلیه گلوله‌هائی که از تفنگ خالی میشوند همواره به یک نقطه از هدف اصابت نمایند، باید در لحظه خالی شدن همه آنها دارای مختصات مبداء x و سرعت v (یا تکان p) کاملاً یک جور باشند. این نیز فقط وقتی ممکن است که شما بدون اشتباه هدفگیری کنید و بعلاوه خرج باروت کلیه فشنگ ها دقیقاً یکسان باشد.

معمولا نه این و نه آن دستیافتنی نیستند. بنابراین سوراخ هائی که در هدف بر اثر اصابت گلوله‌ها بوجود میاید تابع قانون تصادفات است و فقط میتوان از احتمال اصابت به دایره «دهم» یا «نهم» هدف سخن گفت، اما هرگز نمیتوان از قبل بدان مطمئن بود.

در اینجا نیز مثل بازی «شیریاخط» این احتمال را میتوان اندازه



گرفت. فرض کنیم ما از ۱۰۰ تیر ٤۰ بار به دایره «دهم» و ۳۰ بار به «نهم» و ۱۵ بار به «هشتم» و الخ تا صفر اصابت کرده باشیم. آنگاه احتمال اصابت به «دهم»، «نهم»، «هشتم» و غیره متناسباً معادل خواهد بود با:

$$W(10) = \frac{40}{100} = 0{,}4;\quad W(9) = 0{,}3;\quad W(8) = 0{,}15\ldots$$

حتی میتوان نموداری رسم کرد که ساختمان درونی بیضی پراکندگی را نشان خواهدداد.

اگر ما حالا یک هدفی درست مشابه همین هدف برداریم و ۱۰۰ تیر دیگر بر آن تیر اندازی کنیم، سوراخهای اصابت بر آن بکلی وضع دیگری غیر از اولی خواهند داشت. اما تعداد نقاط اصابت به «دهمی»، «نهمی» وغیره تقریباً همان است که بود و در نتیجه بیضی پراکندگی بدون تغییر خواهدماند.

واضح است که این نمودار برای تیراندازان مختلف یکسان نخواهد بود، برای تیرانداز ماهر نمودار تنگتر و برای بی‌تجربه وسیع تر. اما برای هریک از تیراندازان بطور جداگانه، نمودار بدون تغییر خواهد ماند، از همین جاست که مربی با تجربه از روی هرهدفی میتواند تعیین کند که کدام یک از شاگردانش به آن تیراندازی کرده است.

از مثالهای سادهای که ذکر کردیم میتوان چنین نتیجه گرفت که: «قانون تصادفات» یک بازی پوچ و توخالی با کلمات نیست. البته هر گلوله را که بطور مجزا بر رسی کنیم به یک نقطه تصادفی از هدف اصابت میکند که آنرا از قبل نمیتوان پیشگوئی کرد. اما اگر تعداد تیرها زیاد باشد، نقاط اصابت یک منظره قانون مندانهای تشکیل میدهد که ما آنرا چون چیز موثقی تلقی کرده و احتمالات را که اساس و پا یه آنرا گذاشته است بکلی فراموش میکنیم.

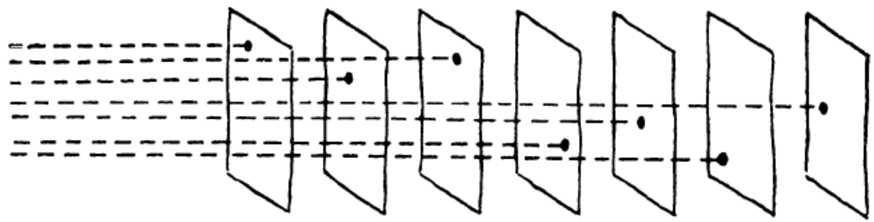
پراش الکترونها

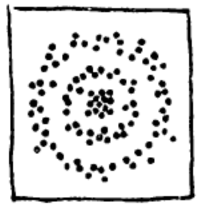
مثال ساده تیراندازی تجربیات مکانیک کوانتائی را بمراتب بیش از آنچه در نظر اول بتوان تصور کرد بخاطر میآورد. برای اطمینان خاطر کافی است اسلحه را با «توپ الکترونی» وهدف را با شیشه عکاسی عوض کنیم و بین آنها قطعه زرورق فلزی بسیار نازکی قرار دهیم.

«توپ الکترونی» — اصطلاحی برای شوخی نیست، بلکه یک اصطلاح علمی است که معرف آلتی برای تهیه یک دسته الکترون میباشد، تقریباً نظیر آنچه در لامپ تلویزیون بکار میرود (یا لوله کروکس). از این دسته الکترون میتوان بوسیله میانپرده و عدسی تمرکزدهنده در کانون شعاع بسیار باریک الکترونی بدست آورد که در آن کلیه الکترونها با سرعت یکسان حرکت میکنند.

حالا این شعاع را بر آن زرورق فلزی که شیشه عکاسی در عقب آن قرار دارد میتابانیم و سپس شیشه را ظاهر میکنیم. خیال میکنید چه تصویری بر آن مشاهده خواهیم کرد؟ نقطه؟ و یا بیضی پراکندگی همانطوریکه در تیراندازی بدست آمد؟ و یا بازهم چیز دیگری؟ پاسخ را مدتهاست که میدانیم: بر شیشه عکاسی یک پراش حلقوی خواهیم دید نظیرآنچه در شکل صفحه قبلی نموده شده است. ما حتی حالا میتوانیم علت بروز آنهارا توضیح دهیم.

در واقع ما بکرات گفتهایم که الکترون نه تنها ذره بلکه در عین حال موج است. اگر تا بحال ما هنوز به این واقعیت عادت نکرده ایم در هر صورت بایستی آنرا بخاطر داشته باشیم. بنابراین خود





پراش الکترونها نباید ما را متعجب سازد: پدیده پراش همیشه آنوقت بروز میکند که موجی از مادهای عبور کند. مسئله در این نیست. مسئله دراینست که امواج چه چیزی همراه الکترون از زرورق میگذرد؟

اسواجی که بر سطح دریا پراکنده میشوند از آب تشکیل شدهاند. امواج الکترو مغناطیسی که از فضاء نفوذ میکنند بمثابه نوسانات میدانهای الکتریکی و مغناطیسی میبا شند. اگر الکترون غیر قابل تقسیم بوده و فاقد ساختمان درونی، پس امواج الکترونی از چه تشکیل شدهاند؟

قبل از آنکه به این سؤال پاسخ دهیم، بیائید با دسته الکترون تجربه دیگری انجام دهیم فقط با کمی تفاوت. الکترونها را یکی یکی رها میکنیم (مثل گلولهاز تفنگ) و هر بار شیشه عکاسی پشت زرورق را عوض میکنیم. پس از آنکه تمام آنها را ظاهر کردیم، مشاهده میکنیم که بر هر کدام از آنها یک نقطه وجود دارد که بر اثر اصابت الکترون نقش بسته است (همین یک واقعیت اگر استدلالات دیگری هم وجود نداشت، کافی بود درهر حال ذره بودن الکترون را بما ثابت کند). در نظر اول نقاط سیاه برصفحات عکاسی بکلی بینظم و ترتیب قرار دارند ومسلم است که هریک از نقاط به تنهائی منظره پراش را مجسم نمیسازد. اما اگر ما کلیه صفحات را منظم روی هم قرار داده و در برابر نور بنگریم، باحیرت همان منظره پراش حلقوی را مشاهده خواهیم کرد، لکههای سیاه اثر الکترونها بر صفحات عکاسی دیگر آنقدر بینظم و ترتیب نیستند که در اول شاهد آن بودیم.

این تجربه ساده واقعاً هم بقدری ساده است که ممکن است بنظر برخی از خوانندگان حتی مبتذل جلوه کند. لیکن همین تجربه ساده بموقع خود آخرین مخالفین مکانیک کوانتائی را قانع کرد. واضح است که لازم نیست برای هر یک از الکترونها صفحه عکاسی جداگانه‌ای برداشته شود، بلکه یک صفحه عکاسی بعنوان هدف کافی است بشرط آنکه گلوله‌های الکترونی را یکی یکی خالی کنیم. باز هم مثل سابق نمیتوان از قبل بگوئیم بر کدام نقطه از صفحه عکاسی کدام الکترون بعدی اصابت خواهد کرد. این یک حادثه تصادفی است. اما اگر الکترونهای زیادی رها سازیم، آنگاه منظره قانونمندانه‌ای از پراش بدست خواهیم آورد. با چنین پدیده‌هائی ما در بازی «شیر یا خط»، در انداختن طاس نرد و تیراندازی بر خورد کردیم. قیاس‌های مزبور منجر به حدسیات طبیعی میگردد: جریان پراش الکترونها از قوانین تئوری احتمالات تبعیت میکند. با تفکرات بعدی و پس از آشنائی با ایده‌های ماکس بورن، جای این حدسیات را اطمینان گرفت.

امواج احتمالات

ماکس بورن (۱۹۷۰ — ۱۸۸۲) در گتینگن یکی از مراکز مشهور علمی آلمان فیزیک‌تدریس میکرد. او پیگیرانه پیشرفت تئوری اتمی را دنبال میکرد و یکی از نخستین کسانی بود که به نظریات کوانتائی هیزنبرگ شکل دقیق ریاضی بخشید. اوایل سال ۱۹۲۷ تجربیات پراش الکترونها سخت توجه اورا بخود جلب کرد.

این پدیده پس از آثار دوبروی بخودی خود دیگر عجیب بنظر نمیرسید. هر فیزیک‌دانی حالا دیگر میتوانست پیدایش منظره پراش را با فرضیه «امواج مادی» توضیح دهد، بعلاوه فرمول دوبروی $\lambda = \frac{h}{mv}$ میتوانست طول این «امواج مادی» را محاسبه کند و با تجربه میتوانست صحت محاسبات خود را تایید نماید. اما هنوز کسی نمیتوانست توضیح دهد که منظور از کلمات «امواج‌مادی»چه هست. آیا ضربان گویچه — الکترون است؟ نوسان یک نوع اتر* است؟ یا ارتعاشات چیزی باز هم

*جسم قابل ارتجاعی که فضا و فواصل میان ذرات اجسام را پر کرده حاوی گرما و روشنائی میباشد. م.

فرضی‌تر است؟ خلاصه خود «امواج مادی» تا چه حد مادیت دارد.

درتابستان سال ۱۹۲۷ ماکس بورن چنین فرض کرد: «امواج‌مادی» همان «امواج احتمالات» است که رویه احتمالی هر الکترون مجزائی را تشریح میکند، مثلاً احتمال اصابت آنرا به نقطه معینی از صفحه عکاسی.

هر ایده نوین و ژرفی اساس منطقی ندارد، اگرچه همیشه میتوان ناظر قیاسهای نه چندان دقیق بود که منجر بدان میگردد. بنابراین بجای آنکه حقانیت بورن را با منطق ثابت کنیم (این امکان ندارد) میکوشیم طبیعی بودن فرضیه اورا احساس نمائیم. باز برمیگردیم بهمان بازی «شیر یا خط» و عللی را که ما را وادار کرد در آنجا تئوری احتمال را بپذیریم بخاطر میآوریم. آنها سه تا بودند:

— عدم وابستگی کامل هر پرتاب سکه؛

— عدم تفاوت کامل هر پرتاب جداگانه؛

— تصادفی بودن آغاز هر پرتاب جداگانه که ناشی از عدم دانائی کامل شرایط اولیه هر تجربه میباشد یعنی از نا مشخص بودن مختصات و تکان اولیه سکه.

کلیه این سه شرط در پدیده‌های اتمی مراعات میشود و از جمله در تجربیات پراکندگی الکترونها. در واقع:

— الکترونها در هرحال ذرات بوده و برای همین هم هر یک از آنها بدون وابستگی بدیگری پراکنده میگردد.

— بعلاوه الکترونها بقدری از لحاظ خواص دست تنگند (بار، جرم، اسپین، و همین و بس) که در مکانیک کوانتائی متمایز نگشته و بموازات آن اعمال جداگانه پراکندگی متمایز نمیباشد.

— وبالاخره، میزان اولیه مختصات و تکان الکترونها را حتی از لحاظ اصولی‌هم شده نمیتوان تعیین نمود، چون تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ مانع از آنست:

$$\delta x \times \delta p \geqslant \frac{۱}{۲} h$$

در چنین احوالاتی بیمعناست که در جستجوی مسیر الکترون برائیم. بجای آن باید طرز محاسبه احتمال $\rho(x)$ اصابت الکترونها به

نقاط معینه x صفحه عکاسی را بیاموزیم (یا همانطور که در فیزیک معمولاً میگویند باید تابع توزیع $\rho(x)$ را محاسبه کرد).

در بازی «شیر یا خط» این کار آسانی بود: حتی بدون محاسبه هم واضح بود که احتمال «خط» آمدن مساوی $\frac{۱}{۲}$ بود. اما در مکانیک کوانتائی کار کمی مشکل میگردد. برای آنکه تابع $\rho(x)$ که توزیع الکترونها را بر صفحه عکاسی توضیح میدهد پیدا کنیم باید معادله شردینگر را محاسبه کرد.

ماکس بورن ثابت کرد که احتمال $\rho(x)$ پیدا کردن الکترون در نقطه x معادل مجذور تابع موجی $\psi(x)$ میباشد:

$$\rho(x) = |\psi(x)|^{۲}$$

آنچه بورن ثابت کرد بسهولت میتوان آزمود. در واقع کافی است منظره پراش را به دوایر متحد المرکزی تقسیم کرد و آنها را شماره گذاری نمود همچنانکه در مورد هدفهای تیراندازی میکردیم.

سپس شماره N_k الکترونهائی را که بر هریک از دوایر با شعاع x اصابت کرده بشماریم و این عدد را بر شماره کلی N الکترونها که بر صفحه عکاسی اصابت کرده تقسیم کنیم. آنوقت نظیر هدف تیراندازی در اینجا هم دسته اعداد $\rho(x_k) = \frac{N_k}{N}$ را بدست میاوریم که معادل با پیدا کردن احتمال الکترون در فاصله (x_k) از مرکز هدف میباشد. اکنون ترسیم موقعیت الکترونها بر صفحه عکاسی آسان خواهد بود و بسهولت میتوان ملاحظه کرد که چگونه تعداد آنها با دور شدن از مرکز منظره پراش تغییر مینماید.

نمودار تابع $\rho(x)$ نسبت به نمودار بیضوی پراکندگی در تیراندازی پیچیده‌تر است. اما اگر قادر نیستیم نمای بیضوی را پیشگوئی کنیم، در عوض تابع $\rho(x)$ را میتوان قبلاً محاسبه کرد. قوانین مکانیک کوانتائی نمای آن را بطور یکمعنائی معین میسازد، زیرا این قوانین صرف نظر از غیر عادی بودنشان، در هر حال وجود دارند و این همان چیزی است که در باره قوانین رفتار شخصی که پراکندگی بیضوی بدان بستگی داشت ما با اطمینان نمیتوانستیم بگوئیم.

اسواج الکترونی ازچه ترکیب شده است؟

ساوقتی کنار دریا ایستاده‌ایم، شکی نداریم که جز اسواج چیز دیگری بروی ساحل پخش نمیشود. و این فاکت صحیح که اسواج از تعداد بیشماری ذرات – سلکول سرکبند سا را ستعجب نمیسازد.

اسواج احتمالات‌نیز مثل اسواج دریا یک حقیقت است. این وضع که اسواج از تعداد بیشماری حوادث تصادفی سجزا و غیر وابسته‌ای تشکیل شده‌اند نباید سارا ناراحت کند.

آب دریا خواص سوج و خواص ذره را توأماً دارا سیباشد. این بنظر سا طبیعی سیرسد. اگرسا در پیدا کردن چنین خواصی در سسئله احتمال ستحیر شویم، آنوقت تحیر سا لااقل غیر سنطقی است.

وقتی باد بر سطح دریا سیوزد، آنوقت از تجمع بینظم و ترتیب سلکولهای سجزای آب دریا، ردیف‌های سنظم اسواج پدیدار سیگردد. درست همینطور هم وقتی سا دسته‌ای از الکترونها را پراکنده سیکنیم، آنگاه حوادث تصادفی سجزا یعنی آثار الکترونها، قانونمندانه در یک سوج احتمالات گروهبندی سیشوند.

برای آنکه سطمئن گردیم که اسواج دریا حقیقی هستند، هیچ لازم نیست بکشتی به نشینیم و کشتی سا غرق شود، اگرچه تماشای سنظره دریا سطلوب سیبود. اسا برای آنکه اسواج احتمالات‌را پیدا کنیم، به دستگاه‌های بغرنج و تجربیات ویژه‌ای احتیاج داریم. البته این تجربیات نسبت به تماشای افق از فراز صخره‌ای در کنار دریا سشکل‌تر است، اسا نمیشود فقط به این جهت خود وجود اسواج احتمال را رد کرد.

با سطالعه کتب قطور هیدرودینامیک سیتوان سطمئن گشت راهی را که سلکولهای تشکیل‌دهنده اسواج دریا طی سیکنند ابداً شباهتی بحرکات سوجی ندارد، سلکولها بر دوایر و بیضی‌هائی بالا و پائین رفته و بهیچوجه در حرکت پیشرونده سوجی شرکت نمیجویند. آنها سوج را تشکیل سیدهند ولی دنبال حرکت آنرا نمیگیرند. فرم این سوج را قوانین هیدرودینامیک سعین سیسازند.

درست همینطور هم حرکت الکترونهای‌سجزا در اتم بهیچوجه به نوسانی که سابقاً تشبیه کردیم شباهت ندارد. اسا در سجموع راه

الکترونها که مشاهده میگردد، متعلق به دسته یگانه‌ای یعنی یک موج احتمالات است که مشاهده میکنیم. فرم این موج را قوانین مکانیک کوانتائی دیکته میکند.

قیاس‌های نظیر را میتوان بازهم ادامه داد، اما باید اکنون چیز مهمتری را روشن سازیم. اکنون کلمات «الکترون — موج است» را چگونه باید درک کرد؟ چون، اگر این یک موج مادی نیست بلکه احتمالی است، پس آنوقت حتی با تجربه روی الکترونهای مجزاهم نمیشود پیدایش کرد.

گاهی خصوصیات موجی پدیده‌های مکانیکی کوانتائی را بمثابه نتیجه تاثیرات متقابله معما آمیز تعداد زیادی ذرات در بین خود تلقی میکنند. این توضیحات درست دلیل بر آنست که با تجربه روی ذره اتمی که بطور مجزا گرفته شده باشد، بطور کلی نمیتوان قانونمندی موجی پدیده‌های اتمی را پیدا کرد. اشتباه چنین قضاوتهائی ناشی از عدم درک ساده طبیعت قوانین احتمالات است، زیرا تابع موجی $\psi(x)$ و توزیع احتمال $\rho(x)$ را برای ذره مجزا میتوان محاسبه کرد. اما اندازه‌گیری توزیع $\rho(x)$ فقط در صورت کثرت تکرار تجربیات متحدالشکل با ذرات مشابه مقدور است.

با همه اینها احتمال — یک خصوصیت حوادث جداگانه است. برای آنکه هر الکترون دارای خاصیت موجی است، اگر چه ما آنرا فقط در دسته‌ای از الکترونها میتوانیم بیا بیم (درست همینطور هم در بازی «شیر یا خط» $\frac{1}{2}$ احتمال آمدن «خط» یک خاصیتی بود برای یک حادثه، اما این احتمال را فقط در تعداد زیادی حادثه میشد اندازه گرفت).

تصور مکانیک کوانتائی معاصر بدون مفهوم احتمال بسیار مشکل است. شاید این مهمترین تمایزش از مکانیک کلاسیک باشد. البته فیزیک کلاسیک همواره از تئوری احتمالات استفاده میکند مثلا در تئوری سینتیک گازها. اما در آنجا باز میشد به امید اینکه بتوان بدون تئوری احتمال هم از عهده کار برآمد خود را تسکین داد بشرط آنکه حل معادلات بسیار زیاد حرکت ملکول‌های گاز توأماً ممکن میگشت. مکانیک کوانتائی جائی برای چنین امیدی باقی نمیگذارد، زیرا معادلات اصولی آن فقط محاسبه حوادث احتمالی را

مجاز میدارد. معهذا این بیان برای پدیده‌های اتمی همانقدر کامل خواهد بود که بیان جامع حرکت کلاسیک بکمک مفهوم مسیر.

کلیه مثالها و مباحثات قبلی بما کمک میکند که بفهمیم الکترون در خارج از اتم معرف چیست و چرا این ذره نیز دارای خواص موجی میباشد. چگونه این خواص — موجی و ذره‌ای — میتواند بدون تضاد منطقی در درون اتم بگنجد؟

اتم

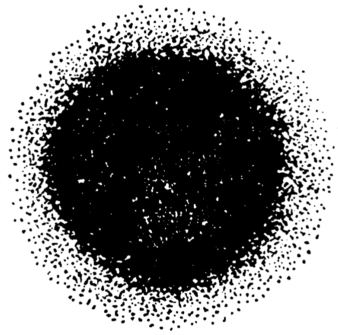
اگر توجه کرده باشید، ما در هیچ جا سعی نکردیم فرم اتم را مستقیماً بوسیله تجربه تعیین کنیم. ما آنرا از روی معادله موجی شردینگر محاسبه کردیم. ما آنرا قبول کردیم زیرا همان معادله اجازه میداد ظریفترین خود ویژگی‌های طیف‌های مشاهده شده اتم را پیشگوئی کنیم. اکنون این فرم مورد قبول همگان است وحتی در بخش قبلی چند نوع از این فرم‌ها را رسم کردیم.

اما اگر تصاویر اتم را همانطور که در شکل دیده میشود بفهمیم، آنگاه لازم میاید الکترون را بمثابه ابر بار شده‌ای پیش خود مجسم کنیم که فرم آن وابسته به میزان تحریک اتم میباشد. بعلل بسیاری چنین منظره‌ای قانع کننده نیست.

قبل از هر چیز الکترون در هرحال ذره است و یقین کردن بدان ساده است، مثلا اثرات در اطاق ویلسون. علاوه بر این ما حالا دیگر بقدر کافی میدانیم که هیچ نوسان و موج مادی حقیقی در اتم وجود ندارد. آنچه حقیقت است امواج احتمالی است. آیا این دانائی نوین تصورات قبلی‌مارا از اتم تغییر میدهد؟

در خیال تجربه ای برای تعیین فرم اتم هیدروژن بعمل آوریم. بازهم همان «توپ الکترونی» سابق را مورد استفاده قرار دهیم، اما اینبار از آن بسوی زرورق تیراندازی نمیکنیم بلکه به اتم هیدروژن که بطور مجزا گرفته شده تیراندازی میکنیم. در این صورت چه باید مشاهده نمائیم؟

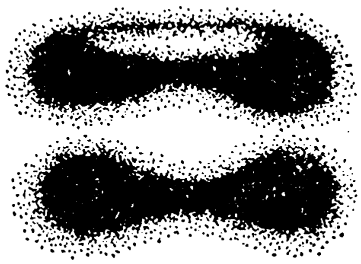
اکثریت الکترونها اتم هیدروژن را «درمینوردند» چون گلوله هائی



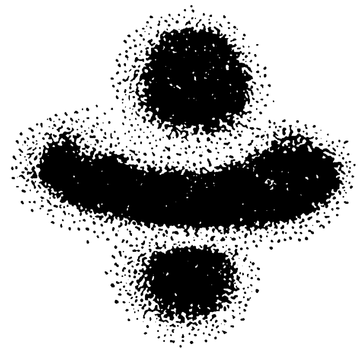
۱sσ n=۱ l=۰ m=۰



۲pσ n=۲ l=۱ m=۰



۳dπ n=۳ l=۲ m=۱

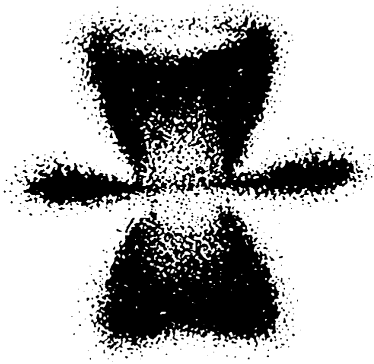


۳dσ n=۳ l=۲ m=۰

که از ابر بگذرند و از راه خود منحرف نگردند. اما سر انجام یکی از آنها به الکترون اتم تصادف خواهد کرد، آنرا از جا میکند و در اثر این برخورد سمت حرکتش تغییر خواهد کرد. اکنون در عقب اتم دو الکترون مشاهده خواهیم کرد، یکی همانکه از «توپ» خارج شده بود و دیگری همانکه در اثر بر خورد از اتم بیرون جهیده بود. فرض کنیم ما توانسته باشیم راه آنها را بدقت اندازه گرفته باشیم بطوریکه بتوان نقطه بر خورد آنها را در اتم بازسازی کرد. آیا میتوان براین اساس تاکید کرد که الکترون در اتم هیدروژن درست در همین نقطه قرار داشت؟

نه، نمیتوانیم. ما حتی قادر نیستیم فرض خود را بیازمائیم زیرا اتم هیدروژن پس از این تجربه دیگر وجود ندارد و اندازه‌گیری ما آنرا درهم ریخته است.

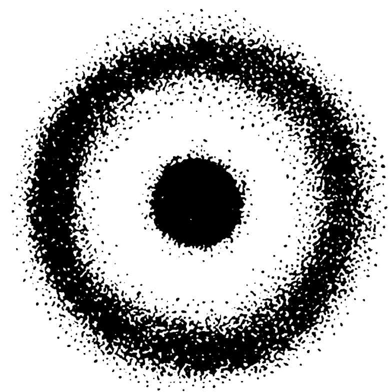
اما نباید زیاده افسرده گشت، زیرا کلیه اتمهای هیدروژن که با یکدیگر فرق و تفاوت ندارند، اتم دیگری را برگزیده و تجربه را تکرار میکنیم. اما نتیجه تجربه موجب حیرت ما خواهد گشت، زیرا



٤fπ n=٤ l=٣ m=١



٤fδ n=٤ l=٣ m=٢



٢Sσ n=٢ l=٠ m=٠



٤fδ n=٤ l=٣ m=٠

مشاهده خواهیم کرد که الکترون در آن محلی از اتم که ما بر اساس اندازه‌گیری قبلی پیش‌بینی میکردیم قرار ندارد.

تجربیات سومی، پنجمی و دهمی فقط این اطمینان ما را استحکام میبخشد که الکترون در اتم موقعیت معینی ندارد و هر بار در محل جدیدی آنرا پیدا میکنیم. اما اگر اتم‌های بسیاری برداشته و اندازه‌گیری‌های خیلی زیادی نیز انجام دهیم، در اینصورت هر بار نقطه موضع الکترون را در اتم که در هر تجربه بدست آمده یادداشت کنیم، سر انجام با حیرت مشاهده خواهیم کرد که این نقاط مواضع الکترونها نا منظم نبوده بلکه در فرم‌هائی که ما با آنها دیگر آشنا هستیم دسته‌بندی میشوند که قبلاً از معادله شردینگر محاسبه کرده بودیم.

از تجربه‌های پراش الکترونها ما دیگر میدانیم که این واقعیت را چگونه باید توضیح داد. در واقع اگر آنوقت نمیدانستیم الکترون بکدام نقطه صفحه عکاسی اصابت خواهد کرد، حالا نمیدانیم آنرا

در کدام محل اتم میتوان یافت. مثل پیش میتوانیم فقط احتمال پیدایش الکترون را در محل معینی از اتم نشان دهیم.

در یک نقطه اتم این احتمال بیشتر و در جای دیگر کمتر خواهد بود، اما مجموعه مواضع احتمالی تشکیل شبح قانونمندانه‌ای را میدهد که ما بمثابه فرم اتم میپذیریم.

ما کار دیگری نمیتوانیم بکنیم . البته میتوان اعتراض کرد که اینها ماتمهای جداگانه نبوده و شکل تعمیم‌یافته‌ای از عده زیادی اتم است. اما این دلیل سستی است، زیرا تمام اتمها در یک نوع حالت کوانتائی، از هم متمایز نمیگردند. بنابراین منظره نقطه واری که از تجربیات فراوان پراکندگی الکترونها در اتم‌های زیادی اما یکسان بدست آمده، در عین حال هم فرم تعمیم یافته و هم فرم یکدانه اتم جداگانه‌را تعیین میکند.

در اینجا نیز، مثل هر جای دیگری که قوانین تصادفات عمل میکند، باید خود ویژگیهای آن در نظر گرفته شود. تابع $\rho(x)$ برای هر اتم جداگانه فقط نشان دهنده توزیع احتمال پیدایش الکترون در نقطه x اتم است. درست در همین معنی است که میتوان در باره «احتمال فرم اتم جداگانه» صحبت کرد. اما این منظره درست میباشد زیرا آن برای هر مجموعه‌ای از اتمهای یکسان کاملاً دارای یکمعناست.

منظره‌ای که اکنون ما از اتم داریم بی‌نهایت با آنچه دمکریتوس میپنداشت فرق دارد. در حقیقت از آنچه وی تصور میکرد چیزی برجای نمانده است. اما گمراهی ثمربخش همیشه بهتر از بی‌اشتباهی بیثمر است. اگر اینها نبودند، کریستف کلمب هرگز امریکا را کشف نمیکرد.

اکنون ما به آن حد و مرزی رسیده‌ایم که بطور کلی برای کسانیکه سعی دارند بدون فرمول و معادلات به ژرفای اتم نفوذ کنند مقدور است. معهذا شکلی از اتم که ما برای خود بوجود آورده‌ایم با تمام جزئیاتش صحیح است. ما بدون استفاده از «آشپزخانه ریاضی» مکانیک کوانتائی قادر نبودیم هیچیک از پدیده‌های اتمی را پیشگوئی کنیم، لکن حالا قادریم به یک نحوی تعریف کنیم، البته بشرط آنکه از شکل نوین اتم بخردانه استفاده کنیم و منشاء آنرا بیاد داشته باشیم.

نه تنها فرم اتم بلکه همچنین کلیه جریانات آن از قوانین تئوری احتمالات تبعیت میکند. وقتی با اتم‌های جدا گانه سرو کار داریم هرگز نمیتوانیم با اطمینان کامل بگوئیم الکترون آن در کجا قرار دارد و در لحظه بعد بکجا خواهد بود و در اینصورت بر خود اتم چه میگذرد.

اما معادلات مکانیک کوانتائی همواره امکان محاسبه احتمالات تمام این جریانات را میدهد. پیشگوئی‌های محتمله را همیشه میتوان آزمود و مطمئن گشت که آنها درست میباشند، البته اگر بقدر کافی آزمایشات یکسان زیادی بعمل آوریم. حتی اشخاصی چون رزرفورد خیلی هم زود این خود ویژگی جریانات اتمی را نفهمیدند.

رزرفورد مقاله بوهر راجع بساختمان اتم را قبل از بچاپ رسیدن میخواند. پس از آشنائی با این مقالات بود که با رکی و قاطعیتی خاص خویش از بوهر پرسید: «الکترونی که در مدار n نشسته است از کجا میداند که باید بکدام مدار بجهد: بمدار k و یا j؟». در آن موقع یعنی سال ۱۹۱۳ بوهر نتوانست چیزی به رزرفورد پاسخ دهد. فقط اکنون پس از مطالعات سه نسل فیزیک‌دانان، مسئله تا آن حد روشن شده است که حتی ما قادریم از آن سر دربیاوریم.

الکترون بهیچوجه چیزی از قبل «نمیداند» — وفقط از قوانین مکانیک کوانتائی پیروی میکند. طبق این قوانین برای الکترون در هر حالت کوانتائی که باشد (مثلاً در حالتی با عدد کوانتائی n) همواره احتمال کاملاً معین گذر بهر حالت دیگر وجود دارد (مثلا بحالت k). مثل همیشه عدد احتمال W_{nk} گذر $n \rightarrow k$ به انتخاب یک جفت حالت کوانتائی n و k بستگی دارد. و اگر کلیه حالات ممکنه ترکیب شماره‌های n و k را برگزینیم، آنوقت جدولی از توان دوم عدد W_{nk} بدست خواهد آمد و حالا دیگر میدانیم که چنین جدولی ماتریس نامیده میشود. و ماتریس، تجسمی از حالت درونی اتم است.

فقط حالا ما میتوانیم ارزش فراست و ذکاوت هیزنبرگ را درک کنیم که او بدون آنکه از قوانین حساب احتمالات که اداره‌کننده جریانات در اتم است چیزی بداند، صحیحاً خود ویژگی‌های

آنها را احساس نمود و ماتریس‌های خویش را بکار برد. $\{X_{nk}\}$ و $\{P_{nk}\}$. بطوریکه کمی بعد روشن گردید، ماتریس احتمال W_{nk} بوسیله این ماتریس‌ها ساده‌تر بیان میشود. و ماتریس‌های هیزنبرگ بنوبه خود با حل معادلات شردینگر سهل تر محاسبه میشود.

مباحثی را که هم اکنون دنبال کردیم با وجود سادگیشان فوق‌العاده ثمر بخشند. مثلاً بکمک آنها بسهولت میتوان توضیح داد که چرا در خط D زرد دوگانه سدیم خط $D_۲$ دو بار شدید تر از خط $D_۱$ است.

بعلاوه با استفاده پیگیر از معادلات مکانیک کوانتائی میتوان خود ویژگی‌های ظریفتر این خطوط را بیان داشت. مثلاً قوانین تغییر شدت درونی خود آنها. اما تمام این مسرت‌ها فقط در دسترس کارشناسان قراردارد.

سببیت، تصادفی بودن، احتمال و درستی

تفسیر مکانیک کوانتائی از دیدگاه نظریه احتمالات به مذاق بسیاری از دانشمندان خوش نیامد و موجب تلاشهای بسیاری برای بازگشت بگذشته، بطرح کلاسیک بیان صورت گرفت. این کوششها بمنظور آنکه هر طوری هست از معلومات قدیمی در شرایط نوین استفاده شود، از لحاظ انسانی قابل فهم بوده ولی، بهیچوجه حقانیت کسب نکرد. این به امیال آن سرباز بازنشسته میماند که درکش از تمام جوانب گوناگون زندگی طبق مقرارت آئین‌نامه مشق صف میباشد. بدون شک عدم نظم و ترتیب صحنه رقص موجب تحیرش میگردد و بسیار مشکل است به او فهماند که قوانین حاکم بر صحنه رقص بکلی غیر از قوانین میدان مشق است.

باز همین اواخر بود که مفسرین بی انصاف مکانیک کوانتائی با جدوجهد مشکوکانه سعی داشتند آنرا فقط به آن علت لغو کنند که در چهارچوبه طرح هائی که خود در نظر داشتند نمی‌گنجید. آنها از باصطلاح «آزادی اراده» که گویا به الکترونها بخشیده شده خشمگین بودند و تناسب عدم‌قطعیت‌ها را تخطئه میکردند و جداً استدلال مینمودند که مکانیک کوانتائی دانش بیفایده‌ایست،

زیرا حوادث واقعی را تفسیر نمیکند بلکه احتمال آنها را توضیح میدهد. هر کس مباحثات قبلی‌را با دقت دنبال کرده باشد، یاوه بودن اینگونه اتهامات را خواهد فهمید. اما حتی آن کسانی هم که با نظر احترام به تئوری اتم مینگرند همیشه هم دقیقاً اعتراف ندارند که چگونه باید سببیت پدیده‌های اتمی را فهمید، در حالیکه هر یک از آنها تصادفی بوده و پیشگوئی آنها تا چه حدی درست است زیرا تمام آنها بر مفهوم احتمال مبتنی هستند.

سببیت در مفهوم عادی آن مبنی بر اینکه «هر پدیده‌ای سببی دارد» بتوضیح احتیاج ندارد ولی علم به این حرفها قانع نمیشود. سببیت در علم احتیاج به قانونی دارد که بوسیله آن بتوان پیگیرانه حوادث را طی زمان دنبال کرد. این قانون بزبان فرمول همان شکل معادله دیفرانسیل را میگیرد که معادله حرکت نامیده میشود. در مکانیک کلاسیک چنین معادله‌ای همان معادله حرکت نیوتن است که پیشگوئی مسیر حرکت ذرات را ممکن میسازد.

درست چنین ترسیم سرپائی و گذرای طرح بیان و پیشگوئی پدیده‌های طبیعت همیشه ایده‌آل بیان علت در فیزیک کلاسیک را تشکیل میداد. این طرح جائی برای شک و تردید و سوء تعبیر باقی نمیگذارد و فیزیک‌دانان برای آنکه این کیفیت را بعداً هم قید نمایند سببیت فیزیک کلاسیک را دترمینیسم* نامیدند.

چنین سببیتی در فیزیک اتمی وجود ندارد. در حالیکه در آن سببیت خاص خود — سببیت مکانیکی کوانتائی و قانون خویش — یعنی معادله شردینگر وجود دارد و آن حتی از معادله نیوتن نیرومندتر است، زیرا در هرج و مرج حوادث تصادفی اتمی قانونمندی آنهارا درک کرده و نمودار میسازد. همانند شهر فرنگ** که با تجمع

---

*دترمینیسم — Determinisme عقیده علمی که قانونمندی و علت و معلولی کلیه پدیده‌های طبیعی و اجتماعی را انعکاسی از قوانین علمی میداند. م.

** kaleidoscope — اسباب بازی مرکب از لوله‌ای که در آن در اثر انعکاس قطعات شیشه رنگین در چند آئینه اشکالی با حرکت دادن لوله ظاهر میشود. م.

تصادفی قطعات شیشه‌های رنگین مشاهده اشکالی را که دارای معنی و زیبائی هستند ممکن میگرداند.

نا سازگاری ترکیب غیر عادی کلمات «سببیت آماری»، «قانونمندی احتمال» بگوش سنگین میاید («روغن روغنین» ترکیب خوبی نیست اما در هر صورت فکری را میرساند، اما «روغن ناروغنین» دیگر از شور گذشته است). این کلمات در واقع ناسازگارند، اما در فیزیک اتمی ما ناچاریم که از آنها توأماً استفاده کنیم، تا بتوان به تمام و کمال خود ویژگی‌های پدیده کوانتائی را بیان داشت. در حقیقت، در اینجا هیچگونه تضاد منطقی وجود ندارد، مفهوم‌های «تصادفی بودن» و «قانونمندی»، مفاهیم متممی هستند. بر حسب اصل متممیت بوهر، برای تعیین مفهوم تازه «سببیت مکانیکی کوانتائی» که چیزی بیشتر از جمع ساده مفاهیم «قانونمندی» و «تصادفی بودن» است هر دوی آنها باهم و بطور یکسان لازمند. درست همچنانکه «سوژه اتمی» همواره از جمع صاف و ساده خواص «موجی» و «ذره‌ای» پیچیده‌تر است.

چنین ساختمانهائی با همه زیبائی منطقیشان معذلک مشکل میتوان بدانها عادت کرد و طبیعیشان شمرد. در فیزیک کوانتائی مثل همیشه این مشکلات منطقی معلول خصوصیات زبان ما و آموزش‌ما هستند. مفهوم‌های «قانونمندی» و «تصادفی بودن»، «درستی» و «احتمال» مدتها قبل از پیدایش مکانیک کوانتائی بوجود آمده‌اند و معانی که معمولاً در آنها نهفته است به امیال فیزیک‌دانان کوانتائی وابسته نیست.

در حقیقت، مسئله احتمال همیشه یک مسئله نگریستن بوده است که چه خواهد شد اگر چنین کنیم یا چنان. در فیزیک کلاسیک دو آزمایش یکجور که در شرایط یکسان آغاز شود همواره باید به نتایج همانندی منجر شود. ماهیت سببیت کلاسیک یا دترمینیسم در همین است. خود ویژگی سببیت مکانیکی کوانتائی در اینست که حتی در شرایط تغییرناپذیر فقط میتواند احتمال نتیجه هر آزمایش جداگانه‌ای را نشان دهد، ولی در عوض طی تعداد کثیری از چنین آزمایشها توزیع نتایج را کاملاً درست پیش‌بینی میکند.

با تناقضات «تصادفات قانونمندانه»، «احتمال درست» تا بی‌نهایت

میتوان مهره‌بازی کرد، اما اینکار چیزی بر اطلاعات ما و معلومات از اتم نخواهد افزود. اصل در این نیست. باید برای یکمرتبه هم شده فهمید که بیان احتمالی اتم بمعنی نتیجه‌گیری میانه آن مدلهای اتمی نیست که عجالتاً بر ما معلوم نیستند (همانطور که در تصادفات پرتاب سکه بود). در اینجا بمرز امکانات دانش کنونی میرسیم: مادام‌که تناسب عدم‌قطعیت‌های هیزنبرگ بقوت خود باقی است، اصولاً ما نمیتوانیم اطلاعات خود را درباره سیستم‌های اتمی تصریح کنیم. در حقیقت این برای ما لازم هم نیست: زیرا در طبیعت تمام اشیاء از تعداد فوق‌العاده زیادی اتم تشکیل یافته و مکانیک کوانتائی خواص چنین سیستم هائی را بطور یکمعنا و بدون هرگونه آزادی عمل پیش‌بینی میکند.

با مفهوم احتمال، طرح منطقی مکانیک کوانتائی تکمیل گشت. تنها بکمک آن بود که ترکیب عالی جفت مفاهیم متمم موج — ذره، پیوستگی — انفصال، سببیت — تصادف، پدیده — مشاهده بدون تناقض منطقی ممکن گردید. تنها پس از این بود که سرانجام توانستیم معین سازیم که کلیه این مفاهیم یک سیستم تقسیم‌ناپذیری‌را تشکیل میدهند و هر یک از آنها وابسته به قرینه دیگری است. فرم پاسخ مکانیک کوانتائی بسؤالات ما وابسته بدانست که ما کدام جنبه پدیده اتمی را میخواهیم بررسی کنیم.

ما مطالعه و بررسی طبیعت را دانسته یا ندانسته همیشه بدو جزء قسمت میکنیم: سیستم + مشاهده. این تقسیم یکمعنا نبوده و وابسته بدانست که کدام پدیده را بررسی میکنیم و از آن چه میخواهیم بدانیم.

اگرمنظورما از پدیده حرکت ذره جداگانه باشد، آنگاه این حادثه انفصالی، تصادفی بوده و اغلب چیز مشاهده نشده‌ای میباشد. اما اگر نتیجه مشاهده حرکت تعداد کثیری سوژه‌های اتمی یک سان را پدیده مینا میم، آنگاه این حادثه پیوسته، قانونمند بوده و با تابع موجی توصیف میگردد.

مکانیک کوانتائی فقط چنین حوادثی را بررسی میکند و پیش‌بینی‌های درست و یکمعنائی برای آنها میدهد که تا بحال حتی یکمرتبه هم تجربه آنها را رد نکرده است.

مردم، حوادث، کوانتها

نتایج علمی بروحیات و امیال اشخاص بستگی ندارد و نیرو و ارزش آنهم در همین عینیت و بیطرفی آنست. با همه این علم دست آورد انسانی است و از اینجاست که تاریخ آن تنها تاریخچه پیشرفت مفاهیم فیزیکی و روشهای ریاضی نبوده بلکه همچنین تاریخ سرنوشت بشریت است. تفصیلات زندگی علما نیز بموازات اکتشافات آنان دارای اهمیت بسزائی است. ما همیشه سعی داریم این یا آن نکته کوچکی را که زندگی روزمره آنان را تشکیل داده و در کارهایشان چنان مؤثر بوده که موجب جا و دانی آنان گشته بفهمیم.

تاریخ مکانیک کوانتائی خاطرات زنده‌ایست از دوران پرشور و اعتلائی که طی آن مردمانی از ملیت های مختلف با سنین و شوق و ذوق گوناگون در زمان کوتاهی که از ۳ سال هم تجاوز نمیکرد موفق شدند مکانیک کوانتائی معاصر را بنا نهند.

سر آغاز را شاید بتوان آن روزی دانست که زومرفلد وارد اطاق کار دانشجوی سال دوم هیزنبرگ گردید و عکسی از خطوط طیفی بدستش داد و از او خواست قانونمندی مواضع آنهارا بیابد. و شاید هم همه از اینجا شروع شد که در اوایل ماه مه سال ۱۹۲۵ ورنر هیزنبرگ که در آنموقع آسپیران بود مبتلابه بیماری تب و لرز گردید و بصلاحدید رهبر آنروزیش ماکس بورن برای استراحت به جزیره هلگولاند در کنار دریای شمال رفت. هم در آنجا بود که وی محاسبات مشهور خود را انجام داد و دستخوش چنان اعتلای روحی گردید که بعدها در باره آن چنین میگوید: «سر انجام شب فرا رسید و من توانستم محاسبه انرژی اعضاء جداگانه جدول انرژتیک و یا بقول امروزی ها ماتریس انرژی را آغاز کنم، هیجانی که سراپای وجودم

را فرا گرفته بود ... مانع از تمرکز فکریم میشد و بهمین علت هم پشت سر هم اشتباه میکردم. بالاخره ساعت ۳ بعد از نیمه شب بود که به نتیجه نهائی دست یافتم. در لحظات اولیه دستخوش هراس گردیدم ...

وقتی فکر میکردم که من مالک تمام این گنجینه‌های ساختمان ظریف ریاضی هستم که طبیعت در برابرم گشوده است، از شوق در پوست نمیگنجیدم. خواب دیگر بکلی از سرم پریده بود و به آن فکر هم نمیکردم. کم‌کم سفیده سر میزد. از خانه خارج شدم و بسوی انتهای جنوبی جزیره روان گشتم، آنجائی که صخره‌ای یکه و تنها سر از دریا برون کشیده بود... بی‌هیچ زحمت و تلاش خاصی بر راس آن صعود کردم و در انتظار طلوع آفتاب نشستم». پس از بازگشت از مرخصی در پنجم ژوئن محاسبات خود را به اطلاع کرونیگ میرساند و ۲۳ ژوئن نامه مشروحی به پائولی مینویسد که حاوی سرآغاز مکانیک ماتریسی آتی گردید. شکی نیست که سطح فرهنگ ریاضی هیزنبرگ از ژرفای نظریه فیزیکش عقب‌تر بود: او حتی نمیدانست کمیت‌هائی که او در آنموقع بکار برده است، دیر زمانی است که در ریاضیات تحت عنوان ماتریس بر همگان معلوم میباشد. از این رو هم هیزنبرگ فقط بکمک ماکس‌بورن و پاسکوال‌یوردان که در آنموقع نوجوانی بیش نبود توانست صلابت ریاضی به تئوری به بخشد. در ماه ژوئیه یعنی فقط طی سه هفته آنان سوفق شدند در شهر گتینگن مکانیک ماتریسی را بنا سازند.

در کمبریج همین مسئله را پول دیراک مستقل از آنان حل کرد و در تابستان همان سال ۱۹۲۵ در سمیناری با حضور پطر لئونیدوویچ کاپیتسا سخنرانی هیزنبرگ را که پس از بهبودی به انگلستان آمده بود استماع کرد.

در پائیز همان سال ولفگانگ پائولی به کمک این ریاضیات نوین سطوح انرژی اتم هیدروژن را یافت و ثابت کرد که بر سطوح اتم بوهر منطبق است.

در تابستان همان سال گائود سمیت و اولنبک فرضیه اسپین الکترون را پیش کشیدند. و لوئی دوبروی نظریه امواج مادی را بطور نهائی تهیه کرد، الزاسر و اینشتین صلاحدیدند که آزمایشات دویسون و

کانسمن روی مسئله انعکاس دسته الکترونها از سطح فلزات بکمک این تئوری ها توضیح داده شود.
یکسال بعد یعنی در بهار سال ۱۹۲۶ مکانیک موجی پا بعرصه وجود گذاشت. در حقیقت مکانیک موجی با رساله دکترای دوبروی در اوایل سال ۱۹۲۳ آغاز شده بود. او برای بجریان انداختن رساله خود به پل لانژون مراجعه کرده بود و وی اگر چه خود چندان از نظریه دوبروی پشتیبانی نمیکرد، معذلک آنرا برای اظهار نظر نزد اینشتین فرستاد و او بنوبه خود با حرارت به ماکس بورن چنین صلاح اندیشی کرد: «آنرا بخوانید! بسیار جدی است اگرچه بنظر می آید که دیوانه‌ای آنرا نوشته است» . علاوه بر این اینشتین در آثار بعدی خود با حسن نظر یادآوری میکرد و بعدها شردینگر از اینشتین سپاسگذاری کرد که بموقع «گوشش را کشیده و اهمیت نظریه دوبروی را تذکر داده است».
مکانیک موجی شردینگر در ایام جشن های عیدپاک سال ۱۹۲۶ متولد شد. متاسفانه شردینگر بر خلاف هیزنبرگ خاطرات زنده‌ای از عصر «Sturm und Drang» مکانیک کوانتائی از خود بجای نگذاشت. شاید این بدان جهت باشد که او اکتشافات اصلی خود را در سالهای بلوغ و پختگی انجام داد که دیگر گردوخاک اقدامات دوران شبابت در درخشش حکمت دانش ناپدید میشود — و هنگامیکه سرور و شادی مستقیم اکتشافات با درک ارزش نسبی کلیه موجودات از در توافق درمیایند.
تئوریسین ها با بدگمانی از مکانیک موجی پیشواز کردند. این استقبال مظنونانه از آنرو بود که آن آشکارا فاقد جهش های کوانتائی بود یعنی همان چیزی که اخیراً و با زحمت زیاد بدان خو گرفته بودند، همان چیزی که خود ویژگی اصلی پدیده‌های اتمی شمرده میشد.
در ماه ژوئن سال ۱۹۲۶ هیزنبرگ برای دیدار اقوامش به مونیخ میرود و هنگامیکه در یکی از سمینارها سخنرانی اروین شردینگر و تفسیر و تعبیر او را از مکانیک کوانتائی میشنود، «... کاملاً مایوس میگردد». در عوض آزمایش کنندگانی چون ویلهلم وین و دیگران که تئوری هیزنبرگ را «عرفان اتمی» نامیدند، تئوری شردینگر را با شوق و ذوق استقبال کردند.

مباحثه برسر مکانیک موجی ساعتها و روزها ادامه یافت و در سپتامبر سال ۱۹۲۶ هنگامیکه شردینگر بنا بدعوت بوهر به کپنهاگ رفت، بحد اعلای خود رسید.

شردینگر که از جرو بحث‌ها خسته و فرسوده شده بود بیمار گشت و چند روزی در خانه بوهر به استراحت پرداخت و بوهر لحظه‌ای هم از کنار بستر مهمانش دور نمیشد.

گاه بگاه نیلس بوهر با ژست خاصی انگشت خود را بلند کرده تکرار مینمود:

— خوب! شردینگر! در هر صورت شما باید موافقت کنید...

بالاخره یکبار شردینگر با نا امیدی بانگ برآورد:

— اگر ما تصمیم گرفته‌ایم که این جهش لعنتی کوانتائی را حفظ نمائیم، آنوقت من بطور کلی متاسف هستم که با تئوری اتمی سرو کار دارم!

بوهر در پاسخ گفت:

— در عوض دیگران از این بابت فوق‌العاده از شما سپاسگذارند.

بمرور زمان نقاط نظر هواداران مکانیک ماتریسی و مکانیک موجی نزدیک میشد. خود شردینگر همسنگی ریاضی آنها را ثابت کرد و ماکس بورن در تابستان سال ۱۹۲۶ پیدا کرد که چه معنای فیزیکی باید به تابع ψ شردینگر نسبت داد.

با اشتهار تجربیات روی پراش الکترونها در پائیز سال ۱۹۲۶، اعتماد به تئوری دوبروی و شردینگر شدیداً استحکام یافت. بتدریج فیزیک دانان دریافتند که ثنویت «موج — ذره» یک واقعیت آزمایشی است که باید بدون بحث و گفتگو پذیرفت و مبنائی برای کلیه سازندگی های نظری قرار داد.

حالا دانشمندان سعی داشتند بفهمند که این واقعیت به چه نتایجی منجر میشود و چه حدودی برای تصور جریانات اتمی قایل میگردد. در این ضمن آنها با ده‌ها عقیده ضد و نقیض برخورد کردند که فهم معانی آنها اغلب ممکن نمیگردید.

در همان پائیز سال ۱۹۲۶ هیزنبرگ در اطاق زیر شیروانی انستیتوی فیزیک کپنهاگ زندگی میکرد. شبها بوهر نزد او میآمد و به بحث و گفتگو میپرداختند — که اغلب تا نیمه های شب ادامه

میافت. هیزنبرگ در خاطراتش مینویسد: «گاهی نیز در اثر نا امیدی کامل از فهم تئوری کوانت، بحث خود را با گیلاس شراب در خانه بوهر بپایان میرساندیم. یک بار پس از چنین جر و بحثی که من سخت ناراحت شده بودم، به فلد پارک واقع در پشت انستیتو رفتم تا در هوای آزاد قدم بزنم، و قبل از خواب کمی آرام گیرم. در ضمن این گردش در زیر گنبد نیلگون و چشمک زدن ستارگان، فکری بمغزم خطور کرد که آیا نباید چون اصل مسلمی پنداشت که طبیعت فقط به آن اوضاع و احوال آزمایشی اجازه وجود میدهد که در آنها ... نمیتوان مکان و سرعت ذرات را توأماً تعیین کرد».

نطفه تناسب عدم‌قطعیتهای آتی در همین افکار بود.

شاید هم برای رهائی از فشار این روزها بود که نیلس بوهر در فوریه سال ۱۹۲۷ به نروژ رفت تا استراحتی کرده باشد و در ضمن ببازی اسکی بپردازد. هیزنبرگ که تنها مانده بود باز هم‌چنان به تفکرات شدید خود ادامه داد. از جمله یک مسئله قدیمی او را بسیار بخود مشغول میداشت و آنرا یکی از دوستان دوران تحصیلیش پسر فیزیک‌دان مشهور درووده مطرح کرده بود: چرا نمیتوان مدار الکترون را در اتم بوسیله اشعه‌ای با طول موج بسیار کوتاه مثلاً اشعه گاما مشاهده نمود؟»

بحث درباره این آزمایش خیلی زود وی را به تناسب عدم‌قطعیتها رساند و در ۲۳ فوریه طی یک نامه ۱٤ صفحه ای به پائولی در این مورد نوشت.

پس از چند روز بوهر با ایده حاضر و آماده متممیت که بطور نهائی در نروژ اندیشیده بود از مرخصی بازگشت.

باز هم پس از چند هفته جروبحث شدید با شرکت اوسکار کلین، جملگی به این نتیجه رسیدند که تناسب عدم‌قطعیتها یک حالت خاص از اصل متممیت است که میتوان برای آن بزبان فرمول بیان کمی نوشت.

در ماه‌های بعد تعبیرات و تفسیرات صور ریاضی مکانیک کوانتائی تکمیل و تصریح شد و بطور نهائی در کنگره سولوه که در پائیز سال ۱۹۲۷ در بروکسل تشکیل گردید تثبیت گشت. در این کنگره پلانک، اینشتین، لرنس، بوهر، دوبروی، بورن، شردینگر و از جوانان هیزنبرگ، پائولی، دیراک، و کرامرس شرکت داشتند. این سخت ترین آزمون کلیه حیات مکانیک کوانتائی بود که با سربلندی

از آن بیرون آمد، و تا کنون تقریباً در معرض هیچگونه تغییرا تی قرار نگرفته است.

در آن سالها در انستیتوی بوهر در کپنهاک نه تنها دانش اتمی تشکیل گردید بلکه در آنجا یک خانواده بین المللی از فیزیک‌دانان جوان بوجود آمد که از آنجمله‌اند: ه. کرامرس، پ. ارنفست، ل. رزنفلد از هلند، او. کلین از سوئد، پ. دیراک از انگلستان، و. هیزنبرگ از آلمان، ل. دریلوئن از فرانسه، و. پائولی از اطریش، گ. گامف، ل. لاندائو از اتحاد شوروی و بسیاری دیگر. همکاری دانشمندان از لحاظ تمایل غیر سازشکارانه به دستیابی به حقیقت، و جد و شعف صادقانه برای مسائل غامضی که باید حل میکردند و احساس شوخ و شنگی لایزال که چنان با روح کلی بلندهمتی معنوی هماهنگ گردیده بود، در تاریخ دانش بیسابقه بود. بوهر که استاد و پدر روحانی آنان گردیده بود میل داشت همیشه یادآور شود که «چیزهای بسیار جدی وجود دارند که جز با شوخی از آنها نتوان سخن گفت».

همه آنها از احساساتی افلاکی که همسنگ تدین است و بزرگان را از مردم عادی متمایز میسازد برخوردار بودند و این احساس را آنان پیگیرانه محفوظ داشتند حتی در فتنه‌های داخلی معاصر که لازم آمد در آنها نیز شرکت جویند.

پس از گذشت سالها، طوفان سیاست آنان را به اطراف و اکناف پراکنده کرد: هیزنبرگ در راس «پروژه اورانیوم» آلمان قرار گرفت، نیلس بوهر پس از نجات از جنگ نازی‌ها سر از مرکز تحقیقات اتمی امریکا در لوس آلاموس در آورد، گائودسمیت برهبری میسیون «آلسوس» انتخاب گردید که باید روشن میساخت که هیزنبرگ برای ساختن بمب اتمی آلمان چه کرده است.

اکنون از این اشخاص تعداد بسیار کمی باقی مانده و با آنها یک عصر کامل از عمر فیزیک گذشت که فقط با اعصار گالیله و نیوتن قابل قیاس است.

فصل یازدهم

مکانیک کوانتائی چیست؟ ◇ اتم چیست؟ ◇ واقعیت فیزیکی

نیلس بوهر هنگامیکه اصل متممیت خود را با ذکر امثله توضیح میداد اغلب این شوخی معروف را یاد آور میشد که «کارشناس خوب کسی است که از چیزهای کم، بسیار بداند. روزنامه نگار خوب هم کسی است که از چیزهای زیاد کم بداند. و حداکثر: بهترین کارشناس از هیچ، همه چیز میداند و برجسته‌ترین روزنامه‌نگار از همه چیز، هیچ نمیداند.»

کوزما پروتکف که از اصل متممیت اطلاعی نداشت، ساده تر بیانش میکند: «کارشناس مثل پیله دندان است که تورمش یکطرفه است». و بر عکس «فرانا گرفتنی را فرا نتوان گرفت».

در زمان ما این شوخی‌ها معانی خود ویژه‌ای کسب کرده‌اند، چون، روزانه بارانی از اطلاعات بر سر انسان میبارد: کتب، رادیو، تلویزیون، روزنامه... (در کتابخانه‌های جهان بیش از ۶۰ ملیون کتاب وجود دارد و در هر یک دقیقه کتاب تازه‌ای منتشر میشود). اشخاصی که آمادگی نداشته باشند و به ناگاه در معرض این سیل اطلاعات قرار گیرند بطور کلی از اینکه بتوانند از آنها چیزی دریابند مایوس گشته و ترجیح میدهند که در جریان آن شنا کنند بدون آنکه هیچ اطلاعاتی داشته باشند. اشخاص کوته‌نظری هم هستند که سعی دارند از این سیل مشتی اطلاعات سطحی که دیگر برای همگان قابل دسترسی است و در عین حال زرق و برقی هم دارد بچنگ آورند و با اینکار هم خود و هم دیگران را بفریبند.

اما اکثریت مردم کوشا هستند تا از این سیل اطلاعات فقط آن دانائی هائی را که مطلقا لازم دارند و یا مسرت زایدالوصفی بدانان

می‌بخشد برگزینند. البته هرکس پایش را به اندازه گلیمش دراز میکند. این یک جریانی است کاملاً فردی و بیشتر هم خود بخودی و در برابر تجزیه و تحلیل منطقی هم سر فرود نمیاورد. نمیتوان در گهواره نوزاد نسخه‌ای از دستورات دقیق قرار داد که چه وقت و با چه نظم و ترتیبی و چه کتابهائی مورد لزومش میباشد که طی زندگی خود بخواند.

ولی با همه این برخی قواعد وجود دارد درست نظیر وسایل مشهور زیاد کردن عمر، اگرچه نسخه‌ای برای زندگی جاودانی وجود نداشته و ندارد. ممکن نیست از همه چیز اطلاع داشت. البته خوب هم هست که آدم زیاد بداند، اما باید حتماً لااقل چیزی را کامل و دقیق دانست. تنها چنین معلوماتی است که انسان را بداشتن قابلیت تفکر مستقلانه و امکان ایجاد ارزش‌های نوین مطمئن میسازد.

هنوز برای جریان ادراک «تناسب عدم‌قطعیت‌ها» پیدا نشده است که توازن بین «کمیت» و «کیفیت» لازم برای دانائی انسان را نشان دهد و حدود امکانات را در انتخاب موضوع و طریقه پژوهش آنرا دقیقاً تعیین نماید. اما در یک چیز بحثی نیست: سطحی بودن نه ثمره‌ای ببار میاورد ونه تمتعی بدست میدهد. همه ما به نحوی از انحا مقهور و مبهوت زیبائی‌ها و قدرت دانش هستیم، لیکن اگر سخنان مجلس آرا در باره علم متکی بر اطلاعات از واقعیات دقیق و مفاهیم واضح نباشد، آنگاه معرف نوعی تهی مغزی است.

با طی کلیه بیانات خود درباره مکانیک کوانتائی همواره سعی داشته‌ایم از اینگونه واقعیات و چنین مفاهیمی استفاده کنیم. واضح است که اگر شما تمام آنهارا دریافته و فرا گرفته باشید معذلک قادر بطرح ریزی لیزر* ویا محاسبه دیگ اتمی نخواهید بود. اما نباید

---

* لیزر— دستگاه تقویت کننده و جدا سازنده امواج و تشعشعات رادیوالکتریک با طول بسیار کوتاه در حدود میکرون میباشد که در عین حال میتوان از آن بعنوان مولد این امواج نیز استفاده کرد. این مولد نور، یک دسته اشعه نورانی تکفام و همفاز پرقدرت در امتداد وجهت معین تولید میکند. م.

فراموش کرد که ما به مجلس سخنرانی عمومی موسیقی برای آن نمیرویم که ویولون‌زدن را بیاموزیم.

ما به پایان داستان خود رسیده‌ایم. حالا به بینیم میتوانیم به دو سؤال اصلی که در همان سر آغاز مطرح شده است متفکرانه پاسخ دهیم؟

مکانیک کوانتائی چیست؟ اتم چیست؟

پاسخ این سؤالات اگر چه دارای خود ویژگی است، اما وجود دارد.

ما گفتگوی خود را با این تعریف آغاز کردیم که «مکانیک کوانتائی دانشی است درباره ساختمان و خواص موضوع‌ها و پدیده‌های اتمی». بلافاصله هم آنرا کنار گذاشتیم، زیرا تا وقتیکه هنوز خود مفهوم «موضوع اتمی» معین نشده باشد، احتمال سیرفت آن مثمر ثمری نباشد. ما به تجزیه و تحلیل آزمایشاتی که خواص اتم را ظاهر میساخت و به آنالیز فرمولی که پیشگوئی نتایج این آزمایشات را ممکن میساخت متوسل شدیم.

بتدریج مطالب حیرت انگیزی روشن گردید: کلیه فرمولهائی که خواص موضوع‌های اتمی را بیان میدارند شامل ثابت پلانک h میباشند. و اکنون اگر فیزیک‌دانی معادله‌ای در برابر خود دید که در آن کوانت عمل h داخل میباشد، او از همین نکته بدون اشتباه به این نتیجه میرسد که در برابرش معادله مکانیک کوانتائی قرار دارد.

ممکن بود بر همین اساس، مکانیک کوانتائی را بمثابه سیستم معادلاتی که در آنها حتماً ثابت پلانک h وجود دارد تعریف کرد. اما چنین تعریفی فقط میتواند تمایل مارا به یکمعنائی و دقت صوری تسکین بخشد، اما در واقع امر چیزی نمیتواند بدهد زیرا تعریفات علمی باید پژوهش اشیاء را نشان دهد و آنهم نه فقط روش دسترسی بدین هدف را.

ما پس از کوشش های فراوان برای پاسخ دادن بسوال در باره ماهیت اتم فقط بطور ساده میتوانستیم بگوئیم: «اتم — همان چیزی است که اکنون در باره‌اش میدانیم». اما البته این باز هم تعریف نیست بلکه بهانه ظاهراً موجهی برای فرار از آنست.

با چه کلماتی میتوان مفهوم «اتم» را بطور موجز و دقیق تعریف کرد؟

ما بکرات یقین حاصل کردیم که تمام تنوعات و مشکلات این مفهوم آنچنان نیست که در یکی از کلمات محاوره‌ای ما بگنجد. آنوقت بود که بمعادلات مکانیک کوانتائی متوسل شدیم و بکمک فرمول ها و با صرف نظر کردن از کلمات و تعریفات دقیق توانستیم شکل اتم را برای خود بسازیم. بدینطریق ما آگاهانه از روش فیزیک معاصر پیروی کرده‌ایم.

ماهیت این روش در چیست؟ قبل از هر چیز این روش صحبت از پدیده‌ها را خود بخود و بدون آنکه طریقه مشاهده آنها در نظر گرفته شود، مجاز نمیداند. مفاهیم «پدیده» و «مشاهده» فقط در ذهن ما بطور مستقل از یکدیگر وجود دارند، که البته دقتشان هم محدود است. برای فیزیکدان این دو مفهوم دو سوی یک واقعیت فیزیکی میباشند که مورد پژوهش قرار داده و در موجودیت عینی آن شک و شبهه ندارد.

بعقیده بوهر مفاهیم «پدیده» و «مشاهده» متمم یکدیگرند. اگر چه آنها نا سازگارند چون مشاهده شکل اولیه پدیده را نقض میکند، اما با همه این بطور مساوی لازمند، زیرا از پدیده بدون مشاهده عموماً هیچ چیز نمیدانیم. یگانگی پیچیده و تاثیرات متقابل آنها مانع از آن میشود که ما اصل خود پدیده‌ها را بفهمیم، اما به آشکار شدن روابط بین پدیده‌ها کمک میکند.

ما میتوانیم این روابط را بکمک فرمول یادداشت کنیم و با کلمات در باره آنها سخن گوئیم. اما اگر این کلمات با فرمول همراه نباشند، در هوا معلق خواهند بود. از طرف دیگر فرمول ها هم تا زمانیکه هنوز کلماتی نیافته‌ایم که بدان وسیله توضیحشان دهیم که واقعاً معرف چه میباشند، مرده‌اند. برای بیان کامل «پدیده — مشاهده» ترکیب هماهنگ مفهوم‌ها و فرمول ها لازم میاید. تنها پس از آنست که میتوان شکل قابل قبولی از پدیده فیزیکی برای خود بوجود آورد.

در این مرحله زنجیره ادراک فیزیک نوین بار دیگر از صورت:

پدیده شکل ⟵ مفهوم ⟵ فرمول ⟵ تجربه

تغییر شکل داده، پیچیده تر شده و بصورت زیر در میاید:

{ پدیده ↑↓ مشاهده } ⟵ { مفهوم ↑↓ فرمول } ⟵ شکل

بدنبال کلیه تلاشها برای تعریف مفهوم «اتم» ما نا خود آگاه بسوی این طرح متمایل شدیم.

فیزیک‌دانان معاصر تعلیمات خود را با فرمول آغاز میکنند. مسلماً در آموزش هر زبان بیگانه عاقلانه آنست که از همان نخست از فرا گرفتن مکالمه شروع کنیم و دیگر هر دفعه لازم به توضیح نباشد که چرا این کلمه چنین نوشته میشود نه طور دیگری.

پس از فرمولها، فیزیک‌دانان میپردازند بکسب کلماتی که باید ادا کرد و بدون آنها عموماً آمیزش بین اشخاص مقدور نیست. اما فرمول‌ها معادل شفاهی دقیق ندارند. بهمین جهت آموزش فیزیک معاصر عبارتست از افاده چیزهای غیر عادی با کلمات عادی اما هر بار از نقطه نظر تازه‌ای. این همان مستغرق کردن مفاهیم نوین از عرصه منطق و ادراک در زمینه حواس درونی و غریزی است که شرط لازم برای هرگونه خلاقیتی میباشد.

چنین طرز آموزشی، سیستم اشکال و مفاهیم فیزیک‌دانان و حتی سیستم ارتباط آنهارا بطور نا محسوس دگرگون میسازد. فیزیک‌دانان همانند هر آدمی که خوب بزبان آشنا باشد از ساختمان درست ادبی اکثر کتب علمی — همگانی صادقانه بیزار میگردند، زیرا بدون هیچ اشتباهی متوجه لهجه تقریباً نامحسوس موجود در آنها میگردند. برای بر گرداندن یک عبارت از زبان بیگانه، خواه ناخواه ناچاریم ساختمان اولیه آنرا درهم بریزیم، چون بدون آن مقدور نیست. زبانیکه فیزیک‌دانان بدان وسیله با یکدیگر تماس میگیرند، اکثرا فقط اسماً و از نظر کلمات جداگانه روسی، انگلیسی و یا زبان دیگری است. در واقع امر این زبان ویژه ایست که لغتنامه وساختمان دستوری آن رداکتورهای ادبی را مایوس میکند. هر قدر سعی شود که با

قواعد و میزانهای ادبی بر جعد فیزیکی جملات «شانه» زده شود، درهر صورت چیزی از دست خواهد رفت همچنانکه در برگرداندن اشعار بیگانه حتی بوسیله بهترین مترجمین اتفاق می‌افتد.

چنین است حقایق فیزیکی که شانه برنمیدارد:

موضوع یاسوژه اتمی — یک واقعیت فیزیکی است که خواص آنرا بکمک معادلات مکانیک کوانتائی میتوان بیان داشت.

مکانیک کوانتائی — سیستم فرمول ها، مفاهیم و اشکالی است که نمایاندن، توضیح دادن و پیشگوئی کردن خواص مرئی موضوعهای اتمی را ممکن میسازد.

دو تعریف مذکور که کنار هم قرار دارند، چنان هستند که گوئی عقل سلیم را به استهزا گرفته باشند. اما آنها در چهارچوبه اصل متممیت کاملاً طبیعی میباشند. مطلب در آنست که مفهوم‌های «موضوع اتمی» و «مکانیک کوانتائی» بعقیده بوهر متمم یکدیگراند. درست همانطور که مفهوم‌های «مختصات» و «تکان»، «موج» و «ذره»، «پدیده» و «مشاهده»، «احتمال» و «درستی»، «سببیت» و «تصادفی بودن» متمم یکدیگرند. آنها یکدیگر را عوض نمیکنند، هیچیک از آنهارا بدون شرکت دیگری یعنی متممش، نمیتوان تعریف کرد. اینها چیزی است که باید بدان عادت کرد، با آنها باید الفت گرفت، چنین است سرنوشت کلیه مفاهیم حقیقتاً ژرف.

نیلس بوهر تا پایان عمر هم از تکرار آن باز ننشست. او حتی طریقه تمایز افکار ژرف را از مبتذل چنین بیان داشت: متضاد ادعا را بسازید، اگر مهمل از آب در آمد، پس شکل اولی مبتذل است. سپس چنین مثال میزند: ادعای «خدا وجود دارد» ژرفست زیرا عکس و مخالف آن «خدا نیست» باز هم ژرف است. اما ادعای «همه مردم میمیرند» مبتذل است زیرا مخالف آن «همه مردم جاویدانند» مهمل است.

طبق اصل متممیت بوهر باید عاقلانه اندیشیدن را در خود رشد داد، نظیر هر استعداد دیگری که طبیعت فقط در نطفه بما داده است. برای اینکار آموختن قواعد صوری بنای مفاهیم کافی نیست، باید همچنین پیش خود مجسم کرد که آنها از کجا بروز کرده‌اند. از اینرو نیز ما چنین طولانی و بادقت با تجربیاتی آشنا شدیم که بعدها مفهوم «موضوع اتمی» را متبلور ساختند. زیرا آن بخودی خود و مجزا از این

تجربیات هیچ معنائی ندارد و فقط آن تصور باطنی را با زبان منطق صوری تحکیم میبخشد که متدرجاً در ادراک ما شکل میگیرد و چه بسا هم علیرغم اراده ما.

تعریف کنونی ما از مکانیک کوانتائی تقریباً کلمه بکلمه با آنچه در آغاز کتاب ذکر کردیم تطابق میکند. و اگر اکنون آن بکلی طور دیگری در گوش شما صدا میکند، پس معلوم میشود آنچه بدنبال خوانده‌ئید بیهوده نبوده است.

گفتگو در باره مکانیک کوانتائی را میشد بهمین جا پایان داد، اگر یک وضع مهمی در میان نبود. مطلب در این است که وقتی ما میگوئیم: «اتم — این یک حقیقت فیزیکی است...» خواه ناخواه باعرصه پهناوری از حد و مرز بین فیزیک و فلسفه تماس میابیم.

مفهوم «حقیقت فیزیکی» آخرین مفهومی است که ضمن هر گونه تلاش جدی برای توضیح مطلبی در فیزیک خواه ناخواه با آن روبرو میشویم. و از آنجا که عمومیت آن بسیار وسیع و جامع است، تعریف آن تنها با وسایل فیزیکی مقدور نیست و برای اینکار باید بفلسفه و مفاهیم حقایق عینی آن متوسل شد.

همانطور که معلوم است، حقیقت عینی چیزی است که بدون بستگی به ادراک ما همیشه بوده و هست. (با وجود آنکه هم ادراک ما و هم حواس ما نیز حقیقت عینی هستند). لکن برای دانش، یک چنین تعریفی بقدر کافی مشخص نیست، زیرا به چیزی جز اعتقاد به ماهیت عینی جهان درک شده مکلف نمیگرداند. و همه علما هم به این اعتقاد دارند و الا تمام عمر خود را صرف درک همین حقیقت نمیکردند. عقاید فقط بر سر طبیعت حقیقت فیزیکی، راستی و یکمعنائی آنست که از یکدیگر جدا میشوند. اکثریت فیزیک دانان معترفند که:

حقیقت فیزیکی — آن قسمت از حقیقت عینی است که ما آنرا بکمک تجربه و هوش خویش درک میکنیم، یعنی کلیه واقعیات و اعدادی که ما بوسیله دستگاه‌ها بدست میاوریم و همچنین تمام آنچه ما در باره آن فکر میکنیم.

عقیده — چیز بسیار لرزان و ناپایداریست. از کجا ما مطمئن هستیم منظره حقیقت فیزیکی که بدینطریق بدست آمده حقیقی است؟ و یا اگر با نرمش بیشتری گفته شود (آخر کسی نمیداند که «حقیقت چیست») چرا ما معتقدیم که این منظره، یگانه منظره ممکنه است؟

تصریح مفهوم ها — کار مشکلی است و همیشه هم بی‌درد سر نیست. سقراط بموقع خود بر سر کوشش تزلزل ناپذیرش برای روشن ساختن معانی مفاهیم اساسی موازین اخلاقی: نیکی و بدی، حقیقت و گمراهی، عدالت و قانون... زندگیش را باخت. سقراط در دوران حد اعلای شکوفائی یونان باستان میزیست. او چون یک خردمند واقعی روزهای خود را در میدانهای آفتابی آتن میگذراند و مسایل همشهریهایش را با پرسشهائی مورد آزمایش قرار میداد، از جمله میپرسید: گیپی بسیار محترم بمن بگو زیبائی چیست؟ دانشمند مخاطب با علاقمندی شروع بدادن توضیحات میکرد و اما بزودی میفهمید که قادر نیست از دایره مسدود مثالها خارج شود: او به چیزهای کم و بیش مفهومی مثل زیبائی زن، زیبائی کاسه محتوی آش یا اسب زیبا اشاره میکرد ولی اینکه خود زیبائی چیست مکرر در مکرر خارج از قدرت پاسخ گوئی او بود.

تراژیسم (فاجعه آمیزی . م.) این وضع نمونه‌ی تفکر را در همه ادوار میفهمیدند. میفهمیدند و با آن میساختند.

بگفته هندیان باستان «حقیقت در ورای ادراک قرار دارد و از اینرو هم با کلمات نمیتوان بیانش داشت». فلاسفه معاصر هم اینطور مینویسند: «در خصوص آنچه با کلمات نمیتوان یاد کرد، بهتر است خاموش ماند».

ما هم در تلاش خود برای پاسخ دادن بسؤال «اتم چیست» ناگزیر با همان اشکالات دست بگریبان میشویم. همانند فلاسفه باستان، ما هم در برطرف کردن آنها بکمک الفاظ دچار مشکلات میشویم. با همه این‌ها کار ما آسان‌تر است: با پیشرفت علم فرمول‌ها پا بمیدان گذاشتند که دور زدن بسیاری از مشکلات را ممکن میگردانند.

با ذکر مثالهای جداگانه بتدریج معتقد گشتیم که اتم — خطوط طیفی که پخش میکند نیست، بلورهای مختلف الشکل که از اتم‌ها ساخته شده‌اند نبوده و آهن ملتهب و الکترونهائی که از اتم‌ها به پرواز درمیآیند نمی‌باشد. درست مثل مصاحب سقراط، اکنون ما هم باید اعتراف کنیم که اتم — چیزی است بخودی خود نامعین، یک

علت عمومی پدیده های اتمی است که بدون وابستگی بدان قابل درک نیست.

به یکی از آزمایشگاه های فیزیکی بروید وسعی داشته باشید که از همان آستانه درب تعیین نمائید که در آنجا چه پدیده طبیعی مورد مطالعه قرار دارد. شما در مقابل خود دستگاه‌های عظیم و سیم‌های درهم و برهم مشاهده خواهید کرد که از ورای آنها نه تنها نمیتوان پدیده را دید بلکه بخود فیزیک‌دانانی هم که در آنجا سر گرم بررسی آنند نمیتوان نظری انداخت. در این اوضاع و احوال مثلاً کلمات «ما در اینجا شکافت خطوط طیفی را در میدان مغناطیسی بررسی میکنیم» فقط میتواند موجب توجه مؤدبانه شما گردد. در صور تیکه از اعتماد اصلاً خبری نیست.

حتی وقتیکه شیشه عکاسی را بدست شما میدهند و شما خطوط باریک سیاه را با چشم خود روی آن مشاهده میکنید، باز هم شما هیچگونه ارتباطی بین آنها و اتم‌ها که آن اشعه از درون آنها (همانطوریکه فیزیک‌دانان سعی دارند شمارا قانع کنند) پخش شده و بعداً بوسیله طیف‌نماتبدیل یافته و بر روی شیشه عکاسی آثار مشخصی بجای گذاشته، احساس نخواهید کرد.

برای شخصی که از عالم فیزیک دورند، تمام این توضیحات قانع کننده بنظر نمیرسد. برای او مثلاً اینکه مکانیسین از روی صدای ضربه موتور میتواند عیب آنرا تشخیص دهد و یا پزشک با استماع شکایت بیمار میتواند بیماری را صحیحاً تشخیص دهد کم و بیش قابل فهم است. زیرا او میداند که همیشه میتوان موتور را باز کرد و در اینصورت اجزاء آن تغییر نخواهد یافت و یا با تشریح جسد میتوان فهمید که تشخیص پزشک صحیح بوده است یا نه. در هر دو حالت تمام اجزاء که کل از آنها تشکیل یافته معلوم است. شما حتی اگر ساعت‌ساز هم نباشید اگر ساعت را باز کنید باز هم میتوانید از کار ساعت سر در بیاورید که چگونه کار میکند و چرا حرکت مرئی عقربه های آن با حرکت فنر و چرخ دنده‌های آن که معمولاً نامرئی است شباهتی ندارد.

در مسئله اتم کار بسیار مشکل تر است. ما تظاهر خارجی خواص آنها را مشاهده میکنیم مثل طیف، رنگ جسم، گرمای ویژه و

ساختمان بلوری آنها، اما پس از این ما نمیتوانیم «قاب‌ساعت» را باز کرده به بینیم «در واقع» اتم چگونه ساخته شده است. بر اساس مجموعه واقعیات، مفاهیم و فرمول‌ها ما شکلی از اتم برای خود بوجود آوردیم. اما از آنجا که هیچ وسیله مستقلی برای آزمون این شکل وجود ندارد، طبیعتاً چنین سؤالی مطرح میشود که: آیا ممکن نیست شکل دیگری برای اتم اندیشید که بازهم بهمان نتایج مشاهده شده منجر گردد؟

این سؤال بیهوده‌ای نیست، تقریباً کلیه فیزیک‌دانان بزرگ بدان مشغول بوده‌اند. یک متفکر عادی و شکاک، آنرا بطور دیگری فرمولبندی میکند: «هر آنچه شما ابداع کرده‌ئید، صحت ندارد و در واقع چنین نیست!».

چنین اعتراضی را مشکل میتوان رد کرد زیرا مفهوم «درواقع» در واقع نامعین است. در معنی زندگی عادی، چیزی فقط وقتی «در واقع» وجود دارد که بتوان با حواس پنجگانه بیازمودش و یا بوسیله دستگاه‌ها که همان ادامه حواس ما میباشند بتوان بدان یقین حاصل کرد.

حتی با مدعای اخیر هم خیلی زود موافقت نشد: معاصرین گالیله او را سرزنش میکردند که کشف لکه‌های خورشیدی و اقمار مشتری از طرف او در واقع کشف نبوده بلکه خطای دوربین بوده است که او از آن استفاده میکرده است.

بگیریم که ما زمان گالیله را بسیار پشت سر گذاشته‌ایم و به حقیقت نشانداده های دستگاه‌ها هم اعتماد داریم ولی بازهم آزادی تعبیر و تفسیر نشانداده بجای خود میماند. امروزه مسئله «در واقع» بدین معنی است: «تفسیر تجربیات درباره پدیده‌هائی که برای ادراک حسی مستقیم قابل فهم نیستند تاچه اندازه یکمعنا است؟»

عقل سلیم انسان برکنار از علم باید اعتراف نماید که چنین تفسیرهائی یکمعنا نیستند. و پس از یک بازدید سرپائی از آزمایشگاه فیزیک مسلماً این اعتقاد تجربه‌نشده استحکام میابد. و فقط فیزیک‌دانان آگاهند که واقعیات و مفهوم‌های علمشان را فقط در جریان کشف و استقرار میتوان آزادانه تفسیر کرد. ولی چون آنها وارد سیستم عمومی معلومات فیزیکی میگردند و با آنها تطبیق میکنند دیگر تغییر آنها تقریباً غیر ممکن خواهد بود، البته بشرط آنکه از حدود قابلیت استعمالشان تجاوز نشود.

در جریان تعمیق و تصریح سیستم دانش علمی، ما ناچاریم از ادراکات حسی مستقیم و مفاهیمی که بر اساس آنها پدیدار میشوند هر چه دورتر گردیم. چنین جریان تجرید اجتناب‌ناپذیر است، اما از این بابت نباید افسرده گشت چونکه عقل ما استعداد آنرا دارد که حتی آنچه را که ما قادر به تصورش هم نیستیم، بفهمد و دریابد.

بهمان قسم که لازم آمد بجای نقش‌ها و هیروگلیف‌های باستانی الفبائی برای نوشتن اختراع شود، همانطور هم تجرید مفاهیم علمی لازم گردید. هیچیک از حروف کلمه «کرگدن» خود آن حیوان را در نظر مجسم نمیگرداند، در حالیکه معنای کلی کلمه شکل لازم را در خاطر زنده میگرداند. بر همگان آشکار است که فرهنگ امروزی بدون طبع و نشر کتاب قابل تصور نیست. اما برای همه آنقدرها هم روشن نیست که بدون تجرید آتی مفاهیم علمی پیشرفت دانش غیر ممکن است. عقل سلیم عادی باید با این واقعیت بسازد و توضیحی از آن نخواهد. دانش مجرد، همانند موسیقی به درک ژرف احتیاج دارد نه دلیل زیرا تنها بکمک درک عمیق میتوان حقیقت غیر عادی اتمی را فهمید، اگر چه این حقیقت بکلی غیر از سنگ یا درخت است که قابل توزین یا رؤیت میباشند.

اما انسان همیشه سعی دارد این «حقیقت مجرد» را آشکارا تجسم کند، یعنی به تعداد معدودی اشکال آزموده شده مبدل سازد. چنین تمایلی در انسان بسیار ژرفست و از اینرو هم در بین فیزیک‌دانان متدرجاً سیستم عجیب و غریب اشکال خاص خودشان رواج گرفت که تقریباً بطور محقق با هیچ حقیقت طبیعی تطابق نداشته و با کلمات از آنها سخن نتوان گفت، اما در هر صورت به آنها کمک میکند تا در لحظات شدیدترین فعالیت فکری روابط بین پدیده‌ها را بیابند.

آن زنجیره تفکر که ما از پدیده به مفهوم و فرمول تا شکل رسم کردیم، چیزی بیش از یک طرح نبود و تصور ضعیفی بود از جریانات پیچیده در مفکوره دانشمند هنگامیکه تلاش دارد در مجموعه نامنظم فاکت‌ها روابط ساده را ملاحظه کند و با کلمات آنها را معین سازد و جای آنها را در منظره عمومی طبیعت پیدا کند.

اما کلمات جدا جدا هنوز زبان شمرده نمیشود. مجموعه‌ای از کلمات و قواعد و دستور زبان لازم است که طبق آنها کلمات ترکیب میابند.

درست همینطور است در مورد فاکتهای جداگانه علمی که هر قدر هم مهم باشند تا وقتیکه مکان آنها در سیستم کلی دانائی معین نیست آنها هنوز معرف چیزی نیستند، تنها با تفسیرشان است که فکر و معنائی کسب میکنند.

تاریخچه خط D سدیم را بخاطر بیاورید. فراونهوفر * آنرا مشاهده کرد ولی آیا او میتوانست فکر کند که کلید تمام مکانیک کوانتائی را در دست دارد؟ او ملاحظه کرده بود که این خط بدو جزء تجزیه میشود. اما آیا او میدانست که‌این‌تاثیر اسپین الکترون میباشد؟ در زمان فراونهوفر هنوز مفاهیم «الکترون»، «مکانیک کوانتائی» و «اسپین» اختراع نشده بود. خط D سدیم بدون این مفاهیم فقط یک فاکت جالب توجه بود که بهیچ نتیجه ژرفی منجر نمیگردید. تنها پس از تجربیات کروکس، رزرفورد و تمسون و پس از تشکیل سیستم مفاهیم و فرمولها که همان مکانیک کوانتائی نامیده میشود آشکار گردید که خط D سدیم یکی از فاکتهائی است که اساس تفکرات ما را تغییر میدهد.

هماهنگی پدیده‌های جهان اتمی را ما فقط در پرتو تئوری میتوانیم ارزیابی کنیم زیرا هرگونه تعریف و تشریحی از دستگاه آزمایش ملال‌انگیز و غیرجالب خواهد بود. تئوری عبارتست از نفوذ فراستمندانه در کنه پدیده‌های مورد مطالعه. این تئوری است که بما اجازه میدهد خواصی را که در وراء تجربیات و ادراکات ما نهفته است حدس بزنیم و سادگی نامرئی را که بغرنج بنظر سیاید بکمک آن بیان داریم. درست همین طرز تفکر نوابغی چون دالتون و بوهر بود که عرفان اتمی معاصر را بوجود آورد. فقط تئوری بود که منظره اتم را چه از لحاظ منطقی رضایتبخش و چه از لحاظ زیبائی قابل پذیرش ساخت. بیجهت نیست که چنین لحظات نفوذ در ماهیت اشیاء را اغلب $\theta\varepsilon o\rho i\alpha$ یا دیدن خدا میخوانند (اگر چه ممکن است از لحاظ اتیمولوژی خیلی صحیح نباشد).

اینکه مفهوم بر اساس فاکتهای تازه پدیدار میگردد چیزی است

Joseph von Fraunhofer (1787 — 1826) *

آشکار برای همگان. اما در عین حال همه نیز متوجه آن نیستند که چقدر معنی فاکتهای جدید بستگی بمفاهیمی دارد که برای تعبیر و تفسیر آنها بکار بزده میشود. این تاثیرات متقابله فاکتها و مفاهیم با پیشرفت معلومات علمی متدرجاً شدت میابد و زنجیره تفکر مجدداً تغییر شکل میابد:

{ پدیده ↓↑ مشاهده } ⇄ { مفهوم ↑↓ فرمول } ← شکل

در زمان ما این تا ثیر متقابل بقدری شدت گرفته است که گاهی مشکل میتوان فاکتها را از تفسیراتشان تمیز داد. از آنجا که تاثیر متقابل و بدون کنترل فاکتهای جدید و مفاهیم خیلی سریع منجر به نتایج واقعی عملی میگردد، اغلب نتایج اینگونه تاثیرات متقابل را انفجار اطلاعاتی مینامند.

گشودن درهم آمیختگی بغرنج فاکتها، مفاهیم، فرمولها، و اشکال علمی بسیار مشکل است و شاید هم ممکن نباشد. ما در کلیه این نوع تلاشها خواه ناخواه بسؤال مقدس: «تخم‌مرغ اول پیدا شده یا مرغ؟»میرسیم.

اما نوئل‌کانت کوشید تا این دایره مسدود منطقی را بگشاید: مفاهیم به نتایج آزمایشات بستگی دارند و تعبیر و تفسیر تجربیات به سیستم مفاهیم. فرض او مبتنی بر این بود که «خداوند» تعدادی از اینگونه مفاهیم را به انسان اعطاء کرده و — انسان با آنها متولد میشود و از آن پس با ترکیب مفاهیم اولیه میتواند بحقایق پی ببرد، البته اگر در اینکار مرتکب اشتباهات منطقی نگردد. او با قبول این احتمال، فلسفه موزون و مکمل ادراک را بنانهاد. اما پیشرفت فیزیک بزودی نشان داد که بسیاری از «حقایق ذهنی» کانت نظیر زمان و مکان و غیره واقعاً هم دارای منشائی عملی بوده و از خود خاک برخاسته‌اند البته با درک به نحو دیگر و محرومیت آنها از خود ویژگیهای مشخص آن اشکالی که بر اساسشان بوجود آمده‌اند.

هرگز کسی آن نخستین فاکت علمی و آن اولین مفهوم علمی را که با آنها تکامل علم کنونی آغاز گشت نخواهد دانست. از اینرو

نیز طبیعت‌شناسان اکثراً بجای «توضیح طبیعت» از «توصیف طبیعت» سخن میگو یند.

«ما اکنون بهتر از علمای طبیعتشناس گذشته درک میکنیم که یک چنان نقطه عزیمت مطمئنی وجود ندارد که از آن بتوان به تمام قسمتهای معرفت و ادراک ما راه یافت، زیرا تمام معرفت ما آنقدر که معلوم است نا چار پروازی خیالی از روی ورطه بی‌انتهائی است و همیشه لازم میاید که ما از نیم راه شروع کنیم و در بحث حقیقت مفاهیمی را بکار ببریم که فقط بتدریج معنای مشخصی کسب میکنند و آنهم در اثر بکار بردنشان...». این اظهارات هیزنبرگ برای هر عالم فیزیک دلنشین و مفهوم است. و در زندگی هر یک از آنان لحظاتی وجود دارد که آنان از اینکه در چنین شرایطی باز هم درک طبیعت امکان دارد متحیر میشوند. اینشتین اغلب این جمله را تکرار میکرد که: «یگانه معمای طبیعت — همانا قابل درک بودن آنست».

حقیقت فیزیکی — مفهوم بسیار ژرفی است که همانند هر مفهوم ژرف زبان ما معنای یگانه‌ای ندارد. این مفهوم اولیه است و منطقاً نمیتوان آنرا با مفهوم ساده‌تری بقدر کافی تعریف کرد. آنرا باید پذیرفت و مقدمتاً آن معنی را بدان اطلاق کرد که سرا سر زندگی گذشته ما و دانائی حاصله از آن بما امر میکند. واضح است که معنای آن با پیشرفت علم درست همانطور تغییر خواهد کرد که معنای مفهوم «اتم».

نیاکان ما ایمان داشتند که حواس پنجگانه منظره صحیح حقیقت را بدانان میدهد زیرا بکمک آنها بود که میتوانستند از خطرات واقعی برهند و زنده بمانند. ادراک در این دوره از پیشرفت، معلومات محسوسه را فقط طبقه بندی و تحلیل میکرد.

زمان دیگری فرا رسید و ادراک خود به آفریدن واقعیت پرداخت: منظره کامل بهشت و جهنم را ترسیم کرد و کوشید وحدت سه‌گانه ماهیت خدا را آشکارا پیش خود مجسم سازد.

سپس زمان تصفیه شک و تردیدها فرا رسید: اطلاعات محسوسه را کورکورانه نمیتوان پذیرفت (ما حرکت زمین را حس نمیکنیم، ولی آخر زمین میگردد!). همچنین نتیجه گیری‌های ادراک را هم باید با تجربه

آزمود (معلوم شد که ستارگان که سابقاً در آنها ارواح شادروان و شمعدان ملائک را میدیدند، چیزی جز خورشیدهای بسیار دوری نیستند).
با بمیان آمدن علم مفهوم حقیقت دستخوش تغییرات نشناختنی گشت و حقیقت برای انسان قرن بیستم با حقیقت برای یونانیان همانقدر فرق دارد که اتم امروزی با اتم دمکریتوس.
در منظره نوین حقیقت فیزیکی خطوط اصلی را مکانیک کوانتائی ترسیم کرد. شاید همین خود آن علت اصلی باشد که مردم با میل خواهان آنند که بدانند «مکانیک کوانتائی چیست؟». اما این یگانه سبب نمیباشد. آن حتی از منافع طبیعی صنفی هم ژرفتر است. در کار آموختن مکانیک کوانتائی انسان نه فقط مهارت خاصی کسب میکند که او را قادر بساختن لیزر و یا محاسبه دیگ اتمی میکند: بلکه آشنائی با مکانیک کوانتائی — این یک نوع جریان احساساتی است که انسان را وادار میسازد تمام تاریخچه آنرا مجدداً از سر بگذراند. آن نیز همانند هر جریان غیر منطقی، کاملا فردی بوده و اثرات نازدودنی در درک انسان بجای میگذارد. این دانائی تجریدی که یک وقت کسب شده بطور غیر قابل بازگشت بر سراسر زندگی آتی انسان — برخورد او بفیزیک وسایر علوم و حتی بر معیارهای اخلاقی او تاثیر میگذارد. شاید آموختن موسیقی نیز انسان را چنین تغییر میدهد.
شکی نیست که با رفتن به کنسرت اگر چه هر روزه هم باشد، انسان موسیقی‌دان نخواهد شد. برای اینکار ابتدا باید پیگیرانه گامها را آموخت. در آشنائی با هر علمی همیشه لحظه‌ای میرسد که انسان از دو راه یکی را باید انتخاب نماید، میخواهد همچنان آماتور بماند یا کسب تخصص کند؟ در حالت اول کافی است مفاهیم و صور علمی‌را فرا گرفت و حتی الامکان زیبائی آنها را هم حس کرد. در حالت دوم باید پیشه و فن را آموخت، روابط متقابل مفاهیم و قابلیت بیان آنها را بزبان فرمول یاد گرفت. اگر بدینکار تن در ندهیم هرگز مسرت‌استادی و موسیقی‌دانی بدست نخواهد آمد.
با قرائت این کتاب شما فقط از نخستین نت‌های مکانیک کوانتائی آگاه گشته‌ئید و شاید هم توانسته باشید چند صدای آکورد را هم آموخته باشید. البته فقط یکنفر موسیقی‌دان میتواند عمق طرح موزیکال را بطور کامل ارزیابی کند و تنها یکنفر فیزیک‌دان قادر است رضایتمندی

اخلاقی ناشی از زیبائی فرمول هارا احساس نماید. شاید در میان شما باشند کسانی که خود را وقف علم میدارند و این مطلب را بموقع خود دریابند. اما اگر بدون غور و تعمق در «قوانین هارمونی» مکانیک کوانتائی در هر صورت زیبائی «آهنگ» آنرا احساس کرده باشید، در آنصورت در هر حال هدف داستانسرائی ما جامه عمل پوشیده است.

صدر نشینان قله المپ کوانتائی

عالم و کارخانه‌دار سوئدی آلفرد نوبل که در نتیجه اختراع دینامیت ثروتمند گشته بود، مبلغ گزافی پول بفرهنگستان علوم سوئد اهدا کرد تا هر سال منافع این سرمایه بعنوان جایزه به عالیترین دست‌آوردهای علمی و هنری پرداخت گردد.

نخستین جایزه نوبل در سال ۱۹۰۱ به رنتگن تعلق گرفت و از آن پس عنوان دارنده جایزه نوبل عالیترین احترام و افتخار کارهای علمی شمرده میشود. شایان تمجید است که تقریباً همه ساله طی ۳۰ سال علمای فیزیک اتمی بمناسبت اکتشافات خود در این رشته در زمره برندگان جایزه نوبل بوده‌اند. چنین احترامی به یک قسمت کوچک از فیزیک، امری تصادفی نیست، این قسمت واقعاً جهان‌بینی ما را تغییر داده است.

در بین حائزین جایزه نوبل به نام کلیه فیزیک‌دانان بزرگ بر میخوریم که ساختمان مکانیک کوانتائی معاصر را بنا نهاده‌اند و ما با نقل اینصورت بار دیگر میخواهیم تاریخچه پر غنی آنرا نشان دهیم.

سال ۱۹۰۱.

ویلهلم کنراد رنتگن Wilhelm Conrad Röntgen (۱۸۴۵ — ۱۹۲۳) (از آلمان) «بخاطر خدمت بزرگی که باکشف اشعه مشهورش انجام داده و به افتخارش به نام او خوانده میشود».

سال ۱۹۰۲.

هنریک آنتون لورنس Hendrik Anton Lorentz (۱۸۵۳ — ۱۹۲۸) (از هلند)، پیطر زیمن Pieter Zeeman (۱۸۶۵ — ۱۹۴۳) (از هلند) «... بخاطر تحقیقات روی تاثیر مغناطیس بر پدیده تشعشعات».

سال ۱۹۰۳.

هانری بکرل Henri Beccquerel (۱۸۵۲ — ۱۹۰۸) (از فرانسه) «بخاطر رادیو آکتیویته خود بخودی».

سال ۱۹۰۴.

سر ویلیام رامسی sir William Ramsay (۱۸۵۲ — ۱۹۱۶) (از انگلستان) «بخاطر کشف عناصر خنثی گازواره در هوا و تعیین محل آنها در جدول تناوبی».

سال ۱۹۰۵.

فیلیپ ادوارد آنتون فن لنارد Philipp Lenard (۱۸۶۲ — ۱۹۴۷) (از آلمان) «... بخاطر تحقیقاتش روی اشعه کاتدی»...

سال ۱۹۰۶.

سر جزف جون تمسون sir Joseph John Thomson (۱۸۵۶ — ۱۹۴۰) (از انگلستان) «... بعنوان تصدیق اهمیت بسزای تحقیقات نظری و آزمایشی او روی قابلیت هدایت الکتریکی گازها».

سال ۱۹۰۸.

ارنست رزر فورد lord Rutherford of Nelson (۱۸۷۱ — ۱۹۳۷) (از انگلستان) «... بخاطر تحقیقاتش روی تجزیه عناصر و شیمی اجسام رادیو آکتیو».

سال ۱۹۱۱.

ماری سکلودوسکا کوری Marie Sklodowska—Curie (۱۸۶۷ — ۱۹۳۴) (از فرانسه) «... بخاطر کشف عناصر رادیوم و پولونیم، تهیه رادیوم و تحقیق طبیعت و ترکیبات این عنصر عالی».

ویلهلم وین Wilhelm Wien (۱۸۶۴ — ۱۹۲۸) (از آلمان) «.... بخاطر کشف قوانین دمائی».

سال ۱۹۱٤.

ماکس فن لائو ئه Max von Laue (۱۹٦۰ — ۱۸۷۹) (از آلمان) «... بخاطر پراش اشعه ایکس در کریستالها».

سال ۱۹۱۸.

ماکس کارل لودویک پلانک Max Planck (۱۹٤۷ — ۱۸۵۸) (از آلمان) «... بخاطر کشف انرژی کوانتائی».

سالی ۱۹۱۹.

یوهان اشتارک Johannes Stark (۱۹۵۷ — ۱۸۷٤) (از آلمان) «... بخاطر کشف اثر دوپلر در اشعه کانالی و شکافت خطوط طیفی در میدان الکتریکی».

سال ۱۹۲۱.

آلبرت اینشتین Albert Einstein (۱۹۵۵ — ۱۸۷۹) (از آلمان) «... بخاطر خدماتش به فیزیک نظری و بویژه بخاطر کشف قانون اثر نورابرقی ».

سر فردریک سودی sir Frederick Soddy —(۱۹۵٦ — ۱۸۷۷) (از انگلستان) «... بخاطر خدماتش بدانائی ما در رشته شیمی مواد رادیو آکیتو و تحقیقاتش در منشاء و طبیعت ایزوتپها».

سال ۱۹۲۲.

نیلس هنریک دوید بوهر Niels Bohr (۱۹٦۲ — ۱۸۸۵) (از دانمارک) «... بخاطر تحقیقاتش در ساختمان اتم و تشعشعات آن».

فرنسیس ویلیام آستون Francis William Aston (۱۹٤۵ — ۱۸۷۷) (از انگلستان) «... بخاطر کشف ایزوتپهای تعداد زیادی از عناصر غیر رادیو آکتیو بطور عمده بوسیله طیف نمای جرم یا اسپکترو گراف جرم و اثبات قواعد اعداد صحیح».

سال ۱۹۲۳.

روبرت آندریوس میلیکن Robert Andrews Millikan (۱۹۵۳ — ۱۸٦۸) (امریکا) «... بخاطر زحماتش در مطالعه بار الکتریکی بسیط و اثر نورابرقی» .

سال ۱۹۲۵.

جیمس فرانک James Franck (۱۹٦٤ — ۱۸۸۲) (از آلمان) و گوستاو لودیک هرتس Gustav Hertz (متولد ۱۸۸۷) از آلمان «بخاطر کشف قوانین اداره کننده تصادم الکترونها با اتم ها».

سال ۱۹۲۷.

آرتور هولی کمپتون Arthur Holly Compton (۱۹۶۲ — ۱۸۹۲) (از امریکا) «... بخاطر تحقیقات روی اثری که بنام او خوانده میشود».

چارلز تمسون ریس ویلسون Charles Thomson Rees Wilson (۱۹۵۹ — ۱۸۶۹) (از انگلستان) «... بخاطر ابداع طریقه مرئی ساختن راه ذرات باردار هنگام میعان بخار».

سال ۱۹۲۹.

لوئی دوک دو بروی Louis duc de Broglie (متولد ۱۸۹۲) (از فرانسه) «... بخاطر کشف طبیعت موجی الکترون‌ها».

سال ۱۹۳۲.

ورنر کارل هیزنبرگ Werner Heisenberg (متولد ۱۹۰۱) (از آلمان) «... بخاطر بوجود آوردن مکانیک کوانتائی و از جمله بخاطر کار برد آن برای کشف فرم‌های آلوتروپیک (چند شکلی) هیدرژن».

سال ۱۹۳۳.

اروین شردینگر Erwin Schrödinger (۱۹۶۱ — ۱۸۸۷) (از اطریش) و پول آدرین موریس دیراک Paul Dirac (متولد ۱۹۰۲) (از انگلستان) «... بخاطر کشف فرم ثمر بخش نوین تئوری اتمی».

سال ۱۹۳۴.

هارولد کلیتن یوری (متولد ۱۸۹۳) (از امریکا) «... بخاطر کشف هیدرژن سنگین».

سال ۱۹۳۵.

ژان فردریک ژلیو — Frederlc Joliot (۱۹۵۸ — ۱۹۰۰) و ایرن ژولیو کوری Irene Joliot — Curie (۱۹۵۶ — ۱۸۹۷) (از فرانسه «... بخاطر ساخت عناصر نوین رادیو آکتیف».

سال ۱۹۳۷.

کلینتن ژوزف دویسون Clinton Joseph Davisson (۱۹۵۸ — ۱۸۸۱) (از امریکا) و جرج پاجت تمسون sir George Paget Thomson (متولد ۱۸۹۲) (از انگلستان) «... بخاطر کشف آزمایشی پراش الکترونها در کریستالها».

سال ۱۹۴۵.

ولفگانگ پائولی (۱۹۵۸ — ۱۹۰۰) — «... بخاطر کشف اصل منع که اصل پائولی نیز نامیده میشود».

سال ۱۹۵۱.

ادوین ماتیسون ماک میلان (متولد ۱۹۰۷)، گلن تئودور سیبورگ (متولد ۱۹۱۲) — «... بخاطر کشف آنها در شیمی عناصر ماوراء اورانیوم».

سال ۱۹٥٤.

ماکس بورن Max Born (۱۹۷۰ — ۱۸۸۲) (انگلستان) «... بخاطر تحقیقات اساسی در مکانیک کوانتائی و بویژه بخاطر تفسیر آماری از تابع موجی».

لاینوس کارل پولینگ Linus Carl Pauling (متولد ۱۹۰۱) (امریکا) «... بخاطر تحقیقاتش روی طبیعت روابط شیمیائی و کاربرد آنها در توضیح ساختمان مواد مرکب».

سال ۱۹۵۵.

ویلیس یوجین لمب W. E. Lamb (متولد ۱۹۱۳) (امریکا) «... بخاطر کشف او که با ساختمان ظریف طیف هیدرژن مربوط است».

پولیکارپ کوش P. Kush (متولد ۱۹۱۱) (از امریکا) «... بخاطر تعیین دقیق ممان مغناطیسی الکترون»....

سال ۱۹۵۸.

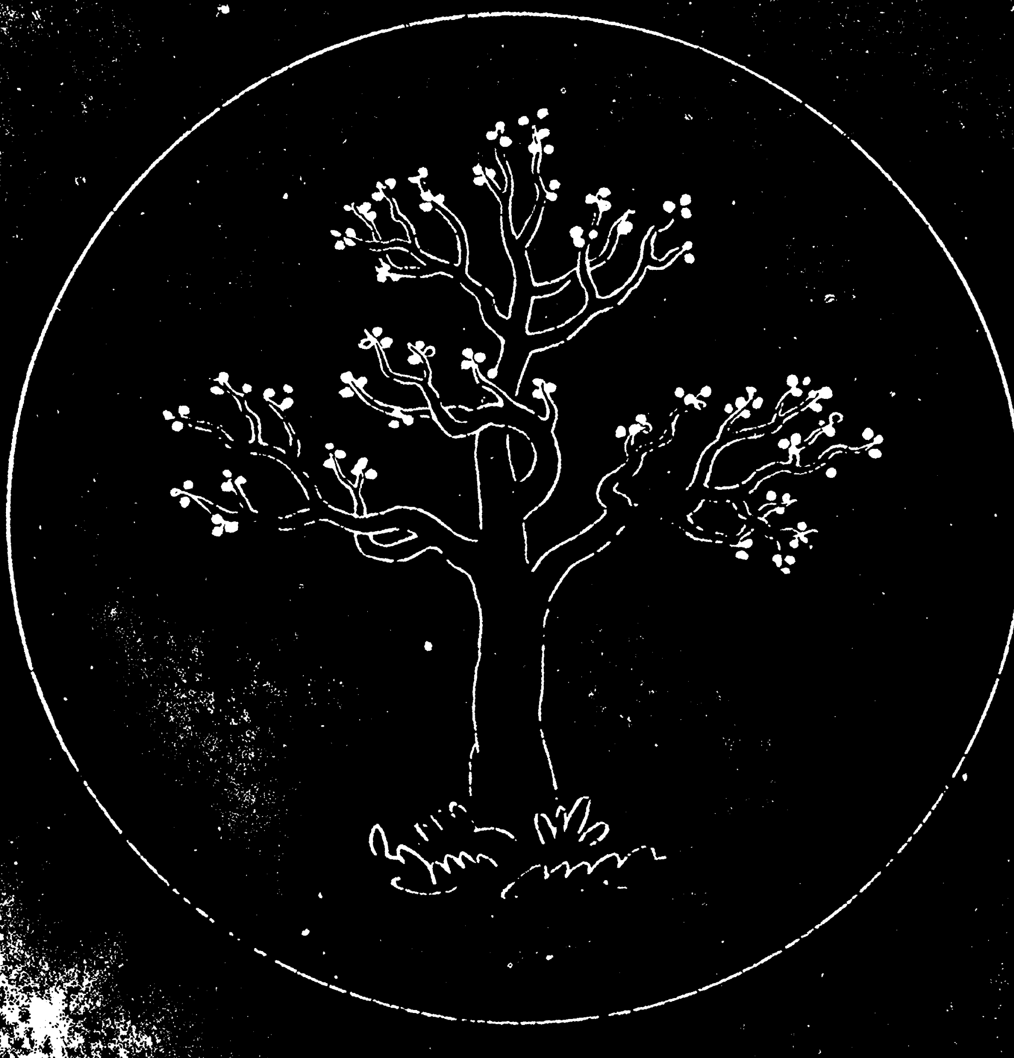
ایگور یوگنویچ تام Igor Ievguenievitch Tamm (۱۹۷۱ — ۱۸۹۵) و پاول آلکساندرویچ چرنکوف Pavel Alexandrovitch Tcherenkov (متولد ۱۹۰٤) و ایلیا میخائیلویچ فرانک Ilia Mikhailovitch Frank (متولد ۱۹۰۸) (هر سه از اتحاد شوروی) «... بخاطر کشف و توضیح اثر واویلف — چرنکوف».

سال ۱۹٦٤.

نیکلای گنادیویچ باسف Nicolai Guenadevitch Bassov (متولد ۱۹۲۲) و آلکساندر میخائیلویچ پروخرف A. M. Prokhorov (متولد ۱۹۱٦) (هر دو از اتحاد شوروی)، چارلز تائونس Ch. H. Townes (متولد ۱۹۱۵) (از امریکا) «... بخاطر تحقیقات در رشته رادیو فیزیک کوانتائی که منجر به تشکیل مولدهای کوانتائی و تقویت‌کننده تشعشعات الکترو مغناطیسی میزرها و لیزرها گردید.

قسمت ۳

تفکر



فصل دوازدهم

پیدایش روش علمی ◇ ماهیت و پیشرفت روش علمی ◇ حقیقت و کمال منظره علمی جهان ◇ علم و بشریت ◇ مرزهای روش علمی ◇ علم و هنر ◇ آینده‌علم.

اخیراً یکی از فیزیک‌دانان در جریان یک بحث پرحرارت گفته بود: «اصولاً، حتی برای بیان سیستم بغرنجی چون انسان، کافی است قانون کولن و معادله مکانیک کوانتائی را بدانیم».

چنین اظهار عقیده‌هائی در علم تازگی ندارد. ارشمیدس برای آنکه زمین را از جا تکان دهد نقطه اتکائی میخواست، لاپلاس میگفت مختصات آغاز و تکان تمام ذرات گیتی را بمن بدهید تا آینده دنیارا برایتان پیش بینی کنم. اگرچه چنین اعتقادهائی بکمال و نیروی علم همیشه دلچسب و جذاب بوده است، با همه اینها عیبی هم ندارد، احتیاط کاری روجر بکون را نیز بیاد داشته باشیم که امروز نیز چون ۷۰۰ سال قبل صادق است: «اگر بشر حتی هزاران قرن هم در وادی مرگ بسر میبرد آنگاه بکمال دانش دست نمییافت، او امروز هم از طبیعت مگس سر در نمیاورد و برخی پزشکان پر مدعا تصور میکنند که پیشرفت و ترقی فلسفه به پایان رسیده است!».

روجر بکون (۱۲۹۴ — ۱۲۱۴) یک راهب انگلیسی بود که در آکسفورد در یکی از نخستین دانشگاه‌های جهان که مدتی قبل از تولد او تاسیس گشته بود تحصیل کرد و سپس هم بتدریس در آنجا پرداخت.

او مینویسد: «بر سر راه فهم حقیقت، چهار مانع بزرگ وجود دارد که مزاحم همگان و هر یک از عقلا بوده و بزحمت میگذارند آنها به خرد کامل دست یابند. این چهار بویژه عبارتند از: نفوذ و اعتباری حقیر ونابرازنده، ثبات عادات، عقاید توده‌های بی‌اطلاع، و بالاخره پنهان داشتن جهالت خود در زیر نقاب خردمندی».

تعلیمات روجر بکون بمذاق پدران روحانی کلیسیا خوش نیامد و ۱۷ سال وی را در کنج زندان نگاه داشتند.

این دوره جنگهای صلیبی و هنگام شکوفائی اصول مذهبی و اختلاطشان با فلسفه و عرفان عیسویت بود. الهیات و زندگی مقدسین — بعنوان موازین اخلاقی معنوی و اساسی آموزش گردید و اهمیت کلیسیا تا بدان پایه رسید که پاپ‌ها بمخالفت با حق حاکمیت شاه‌ها برخاستند. حتی بنظر میرسید که سیستم ارزشهای قرون وسطی دیگر دچار بلیه نخواهد شد، معهذا بزودی اعتقادات دینی جای خود را به اطلاعات علمی وا گذار کرد و تجربیات عاقلانه جایگزین دیدهای عرفانی گردید.

ما خود شاهد شکوفائی سیستم نوین ارزشها میباشیم که هیچ چیز را بر پایه اعتقاد و ایمان نمیپذیرد و فقط بر علم متکی است. قدرت علم حتی مجرب ترین و پخته‌ترین عقل ها را بحیرت میاندازد. علم بود که هسته اتم را شکافت، بماه دست یافت و قانون وراثت را کشف کرد.

اما در شرایط شور و شعف همگانی، اکثراً به کنه روش علمی و علل قدرت آن پی نمیبرند و بویژه حدود و ثغور آنرا نمیتوانند بنظر آورند. هنوز دانشی در باره علم بوجود نیامده و معلوم هم نیست که چنین چیزی بطور کلی وجود دارد یا نه. اما، حتی اگر از قوانین رشد علم هم اطلاعی نداشته باشیم، همیشه دنبال کردن سر چشمه‌ها و خود ویژگیهای خاص آن جالب میباشد. این بما کمک میکند تا مقام و نقش مکانیک کوانتائی را در سیستم دانائی بشر بهتر دریابیم.

پیدایش روش علمی

ما دانش ادوار باستان را گم کرده‌ایم و فقط آثار و بقایائی از آنرا در اختیار داریم که بدون سیستم، نا آشنا و ساده‌دلانه بنظر میرسند. بر فراز سر چشمه دانش معاصر یونانیان باستان ایستاده‌اند که نه تنها از لحاظ زمان پیشینیان ما هستند، بلکه از همه مهمتر از لحاظ روانی نیز اسلاف ما شمرده میشوند. برهان را یونانیان اختراع کردند و این ایده، نه در مصر، نه در بین‌النهرین، و نه در چین بوجود آمد، شاید برای آنکه تمام این کشورها بر پایه استبداد و

تبعیت کورکورانه از متنفذین متکی بودند. واضح است که در چنین شرایطی حتی خود فکر امکان وجود براهین عاقلانه، جنایت شمرده میشود.

برای نخستین بار در تاریخ جهان در آتن بود که جمهوریت پدیدار گشت. البته لازم نیست آنرا ایده‌آلیزه کرد. معلوم است که شکوفائی آن بر پایه کار و زحمت بردگان بود. با وجود این در یونان باستان، شرایطی بوجود آمد که در اثر آن امکان تبادل نظر آزادانه پیدا شد که خود منجر به شکوفائی بینظیر علم گشت. نطفه‌های روش های علمی پدیدار شد که یونانیان سعی داشتند بکمک آنها منظره کامل جهان را بنا سازند.

در قرون وسطی یک سلسله تلاشها برای فهمیدن مقام انسان در جهان آنهم در چهار چوبه اصول و موازین مذهبی مختلف بعمل آمد که نیازمندی درک عاقلانه طبیعت را بکلی خاموش ساخت. تقریباً طی ده‌ها قرن مذهب بکلیه سؤالات و مسائل زندگی پاسخهای جامعی میداد. این پاسخها نه فقط قابل انتقاد نبودند بلکه بحث و گفتگو درباره آنها هم ممکن نبود، هوش و ذکاوت ناچار از تبعیت بدون قید و شرط از مذهب بود.

تألیفات اقلیدس که به زبان لاتینی ترجمه شده بود، در قرن ۱۲ در اروپا شهرت یافت. لیکن در آن زمان، اروپای قرون وسطائی که بیشتر عادت به باورکردن داشت تا به جستجوی ریشه حقیقت، این تالیفات که با روحیه اروپائیان بیگانه بود بمنزله مجموعه ای از قواعد جالب تلقی شد که باید از حفظ کرد. اما حجم دانش بسرعت رشد مییافت و دیگر قادر نبودند آنهارا با سمتگیری های افکار قرون وسطائی متوافق سازند.

معمولاً اواخر قرون وسطی را با کشف امریکا در ۱۴۹۲ مربوط میدانند. برخی نیز تاریخ دقیقتری برای آن قید میکنند، یعنی ۱۳ دسامبر سال ۱۲۵۰ روز وفات سلطان فردریک دوم از سلسله هوهنشتوفن * در دژ فلورنتینو در نزدیکی لوچر. البته هیچ لازم هم نیست این تاریخ ها را

* Frédéric II Hohenstaufen

خیلی هم جدی گرفت، اما تعدادی از این تاریخ‌ها که یکجا برداشته شود، بدون شک احساس درستی از تحولی که در مفکوره مردم در مرزهای قرون ۱۳ و ۱٤ روی داد بدست میدهد. در علم تاریخ، این دوره را رستاخیز یا رنسانس مینامند.

اروپا با تبعیت از قوانین رشد درونی خود و بدون هیچ علت ظاهری، طی دو قرن سرچشمه‌های دانش باستانی را که بعدها نام علم را گرفت و تا آن موقع قرنها بود که مورد بی اعتنائی قرار داشت احیاء کرد.

در دورهٔ رستاخیز، در افکار مردم تحولی از تلاش برای فهمیدن مقام خود در گیتی به کوشش در فهم ساختمان عقلانی آن بدون استناد به معجزات و وحی الهی رخ داد. این تحول که در آغاز خصوصیت اشرافی داشت، با اختراع چاپ کتاب که «اخترا عی بیشتر الهی تا انسانی» بود در بین تمام اقشار مردم انتشار یافت.

اصل و ماهیت این تحول در رهائی از زیر فشار متنفذین و گذار از اعتقادات قرون وسطائی به دانائی زمانه نو بود. کلیسیاها با تمام وسایل بمخالفت با تمایلات نوین برخاستند، فلاسفه‌ای را که معتقد بودند چیزهائی هست که از نقطه نظر فلسفه حقیقی است ولی از دیدگاه دین دروغ، بسختی محکوم میکرد، «گوئی علیرغم حقیقتی که در کتب مقدس ثبت شده است درِکتب بت‌پرستان نیز میتواند حقیقتی وجود داشته باشد».

اگر تمایلات سیاسی دورانی که گلیله میزیست کنار بگذاریم، آنگاه روشن میگردد که اورا فقط بعلت اظهار تمایلش به سیستم کپرنیک بپای میز دادگاه نکشیدند. از چنین فکری صد سال قبل کاردینال نیکلای کوزائی (۱٤٦٤ — ۱٤۰۱) دفاع کرده بود و مجازات هم نشده بود. اما در آن زمان کاردینال با استناد به متنفذین که گویا شایسته پرستشند آنرا تایید می‌کرد. اما گالیله همان فکر را بعنوان چیزی که علم طلب میکند ثابت کرد، یعنی پیشنهاد نمود که هر چیز را فقط با اتکا به تجربه و عقل سلیم باید آزمود. درست بهمین مناسبت هم بود که خدمتگذاران کلیسیا نمیتوانستند او را به‌بخشند.

پس از دیرزمانی ظلم و ستم متنفذین، یکباره دست به افراط زده شد و دوران شک و تردید همگانی آغاز گشت. در همه چیز شک کردند: در اینکه احساس تصور صحیحی از جهان میدهد، در اینکه

ادراک قادر است از گمراهی عقاید و حواس جلوگیری کند، و حتی در حقیقت وجودی خویش ظنین شدند.

این دورانی بود که نقطه اتکاء مذهبی از دست رفته بود و هنوز اعتماد بعقل کسب نشده بود. علاوه براین معلوم شد عدم کمال عقل، امید اینرا که یک زمانی از طریق ادراک به حقیقت دست یافته شود بعقب انداخته است. فقط بتدریج بود که عقل نیرو گرفت و قدم بقدم روش هائی بوجود آورد که میتوانست از اشتباهات مصونش دارد.

کار جستجوی اصول معلومات علمی و روشهائی که موجب عملی گشتن آنها گردد را مدتها قبل از پیدایش علوم معاصر آغاز کرده بودند. در همان قرن ۱۳ روجر بکون در رساله خود «Opus tertium» نوشت: «تجربه طبیعی و ناسکملی وجود دارد که بر قدرت خویش آگاه نیست و موارد استعمال خود را نمیداند. از آنها پیشه‌وران استفاده میکنند نه دانشمندان ... مهارت در انجام تجربیات برتر از همه دانائیهای عقلانی وهنرها بوده و این علم همان علم‌العلوم است...

اینرا فلاسفه باید بدانند که تا وقتی ریاضیات نیرومند را در علم خود بکار نبرند، علمشان فاقد نیرو خواهد بود... سفسطه را از برهان بدون آزمون نهائی از طریق تجربه و کار برد نمیتوان تمیز داد».

نیکلای کوزائی در سال ۱٤٤۰ کتابی تحت عنوان «درباره علمای بی علم» نوشت و طی آن مصرانه اصرار کرد که تمام آنچه از طبیعت درک میشود باید با اعدد ثبت گردد و کلیه تجربیات روی آن باید با در دست داشتن ترازو انجام گیرد.

اثبات نظریات نوین بکندی صورت میگرفت. مثلاً با اینکه ارقام عربی از قرن دهم مورد استفاده همگان قرار گرفته بود معذلک حتی در قرن ۱٦ در همه‌جا کار محاسبات بر روی کاغذ انجام نمیگرفت بلکه بوسیله ژتن‌های خاصی صورت میگرفت که از چتکه امروزی هم ناقص تر بود.

اینطور معمول شده است که تاریخچه واقعی روشهای علمی را از گالیله و نیوتن آغاز کنند. بر حسب همین سنت هم گالیلئو گالیله (۱٦٤۲ — ۱٥٦٤) * را بنیاد گذار فیزیک آزمایشی و آیزک نیوتن

---

* Galileo Galilée

(۱۷۲۷ — ۱٦٤۳) * را پایه گذار فیز یک نظری میشمرند. البته در زمان آنان چنین تقسیمبندی در علم واحد فیزیک وجود نداشت و آنرا بدو قسمت نمیکردند، حتی خود نام فیزیک هم در میان نبود زیرا در آن دوران آنرا فلسفه طبیعی مینامیدند. اما چنین تقسیمبندی دارای معنای ژرفی است: بکمک همین است که میتوان خود ویژگی روش علمی را و در حقیقت همارزی تقسیم علم را به تجربی و ریاضی که روجر بکون تقریر کرده بود فهمید.

ماهیت و پیشرفت روش علمی

ما آنقدر به همگون دانستن مفاهیم «دانائی» و «علم» عادت کردهایم که از دانائی چیزی جز علم در نظر نمیاوریم. ماهیت و خود ویژگی آن در چیست؟

ماهیت روش علمی را خیلی ساده میتوان بیان داشت: این روشی است که بما امکان میدهد از پدیدهها آنچنان معلوماتی کسب کنیم که بتوان آزمود، حفظ کرد و بدیگری انتقال داد.

از اینجا بلافاصله نتیجه میشود که علم، هرگونه پدیدهای را بطور کلی بررسی نمیکند، بلکه فقط آن پدیدههائی را که تکرار میشوند مطالعه مینماید. و ظیفه اصلی آن — جستجوی قوانینی است که طبق آنها پدیدهها بوقوع میپیوندند. علم در ازمنه مختلف، بطرق گوناگون به این هدف دست یافته است.

یونانیان باستان با دقت بمشاهده پدیدهها میپرداختند و سپس سعی میکردند بکمک بینش عقلانی و با نیروی هوش و ذکاوت و فقط با اتکاء به معلومات حسی که در خاطر خود جمع آورده بودند، در هماهنگی طبیعت رسوخ کنند.

در دوره رستاخیز آشکار گردید که دسترسی بهدف مورد نظر، تنها بکمک حواس پنجگانه امکانپذیر نیست و باید بدینمنظور دستگاههائی که چیزی جز ادامه جهاز حواس پنجگانه ما که ژرفتر شده باشند نیستند، اختراع کرد. از اینجا بلافاصله دو سؤال پیش میاید: به

---

sir Isaac Newton *

نشانداده‌های دستگاه ها تا چه حد میتوان اطمینان کرد و اطلاعات بدست آمده را چطور باید محفوظ داشت.

مسئله دوم بزودی با اختراع طبع کتاب و کار برد پیگیر ریاضیات در علوم طبیعی حل گردید. حل مسئله اول بمراتب مشکل‌تر بود، زیرا مسئله درستی معلومات حاصله از دستگاه در میان بود. در واقع این مسئله تا کنون هم بطور نهائی حل نشده است و سراسر تاریخچه روش علمی همانا تاریخچه تعمق دائمی و تغییر شکل آن میباشد.

بسیار زود دریافتند که عموماً به نشانداده‌های دستگاه‌ها میتوان اطمینان کرد زیرا آنها همان واقعیت موجود در طبیعت را که بستگی بدستگاه ندارد بازتاب میکنند. (سر انجام یقین حاصل کردند که مثلاً لکه‌های خورشیدی، درست همان لکه‌هائی است که در خورشید وجود دارد نه عیب و نقص در لوله دوربین که بدان وسیله کشف شده بودند.)

کلیه آن دانائی هائی که بر اساس آنها جهش نیرومند فنی در پایان قرن گذشته صورت گرفت، در این دوره از شکوفائی فیزیک آزمایشی جمع آوری شده بود.

اما در آغاز قرن ما رشد سریع حجم دانائی منجر به بحرانی در فیزیک گردید. در واقع لحظاتی فرا رسید که مردم دیگر نمیفهمیدند اعدادی که بوسیله دستگاه‌ها بدست آورده‌اند چگونه باید با پدیده‌های حقیقی طبیعت ارتباط دهند. درست در همین لحظات بود که فیزیک نظری اهمیت و ارزش تعیین کننده کسب نمود.

بحران دو علت داشت. از یکسو، دستگاه‌ها از حواس مستقیم انسانی فاصله زیادی گرفته بودند و از اینرو هم احساس درونی با ملاک عمل قرار دادن نشانداده‌های آنها نمیتوانست هیچ منظره ساده‌ای از پدیده‌های مورد بررسی بدست دهد، یعنی امکان ایضاح عینی معلومات تجربی از بین رفته بود.

از سوی دیگر، چنان طرح منطقی وجود نداشت تا به نظم و ترتیب فاکتهای علمی کمک کرده و بدون استناد به فراست به چنان نتایج مشاهده شدنی منجر گرداند که حتی عقل سلیم هم نتواند بمخالفت بر خیزد.

از همین طریق دوم بود که بحران رفع گردید: بدین ترتیب که در عین آنکه همچنان به نشانداده‌های دستگاه‌ها اعتماد میشد، مفهوم‌های

جدید و طرح‌های منطقی نوینی اندیشیدند که طرز برخورد نوین به این نشانداده‌ها را میاسوخت. نقش تعیین‌کننده‌را در چنین انکسار مفاهیم سنتی مکانیک کوانتائی ایفا کرد، و نه تنها سلطه‌مارا بر جهان کاملاً نوین پدیده‌های اتمی مستقر ساخت بلکه اطمینان داد که نشانداده‌های دستگاه ها یک عکس و تصویر ساده از پدیده‌های طبیعی نبوده و رابطه مستقیمی با طبیعت نداشته و فقط یکی از جنبه‌های آنهارا همراه تصورات ما در باره طبیعت منعکس کرده و بوسیله اعداد تثبیت مینماید.

با گذشت زمان، این دانائی ها تکامل یافته و مارا قادر میسازد که پدیده‌های باز هم ظریفتر طبیعت را صحیحاً پیشگوئی کنیم. فاکت بخودی خود حیرت انگیز است و محتملاً هرگز آنرا نفهمیم، اما در هر حال چون معلوم گشته ما مورد استفاده‌اش قرار خواهیم داد.

اکنون تقریباً همه علمای فیزیک با این موافق هستند. اما آنان نیز همانند دیگر مردم میخواهند بیشتر بفهمند: میخواهند بدانند که منظره‌ای که فیزیک از جهان ترسیم میکند تا چه حد کامل است؟ این سؤال بیشتر فلسفی است تافیزیکی و همیشه هم مطرح بوده است، امانخستین بار در محاورات افلاطون بطور دقیق تقریر گشت.

افلاطون علمارا به زندانیانی تشبیه کرد که در غاری پشت بمدخل آن زنجیر شده‌اند و قادر بدیدن نوری که از آن میتابد نبوده و سایه‌های متحرکی را بر دیوار مقابل مشاهده میکنند. او معتقد است که حتی در چنین شرایطی، با توجه دقیق به حرکات سایه‌ها، میتوان یاد گرفت که از پیش به روش اجسامی که سایه‌هایشان بر دیوار غار افتاده پی برد. اما معلوماتی که بدینطریق کسب گردد بینهایت دور از آن دانش کاملی است که زندانی آزاد شده از زنجیر، در خارج غار کسب کرده باشد.

به افلاطون هیچ اعتراضی نمیتوان داشت. جهان اطراف ما غنی تر از آنست که ما بتوانیم فقط بر اساس معلومات فیزیکی خود تصورش را بکنیم. یک نفر کور مادرزاد، میتواند اپتیک را بطور کامل بیاموزد، اما با این وصف او کوچکترین تصوری از نور نخواهد داشت تا چه رسد به جلوه رنگارنگ بهاری. وقتی ما در جهان پدیده‌های اتمی گام مینهیم، همه ما بکوران مادر زاد میمانیم. ما بکلی از «بینائی اتمی»

محروم هستیم و نا چاریم در این جهان غیرعادی کورمال کورمال حرکت کنیم.

نظایر چنین قیاسهائی فراوان و فراوان است و هر یک از آنها به فیزیک‌دانان میآموزد که باید باز هم فروتن تر بود. در قرن ۱۹ آرزو داشتند طبیعت را توضیح دهند، در قرن بیستم سعی دارند فقط آنرا بیان دارند. اکنون ما میفهمیم که مسئله تکامل دانائی های فیزیکی و ماهیت پدیده‌ها، در وراء فیزیک قرار داشته و با وسایل آن قابل حل نیستند. فیزیک فقط قوانینی را میاموزد که این پدیده‌ها بموجب آنها صورت میپذیرند. و در این معنی، دقیقاً از «تئوری سایه‌ها» پیروی میکند، اما حتی چنین معلومات محدودی از طبیعت تا چه حد حقیقی هستند؟

حقیقت و کمال منظره علمی جهان

حل منطقی این مسئله غیر ممکن است: ما به علم اعتماد داریم برای آنکه ما را قادر میسازد تا پدیده های طبیعی را صحیحاً و آزاد از اراده شخصیت مدرک، پیشگوئی کنیم. ما درباره ساختمان اشکال آن میتوانیم شک و تردید بخود راه دهیم زیرا آنها بوسیله تماس و ارتباط بستگی دارند، اما اکنون موثقاً میدانیم که تمام اجسام زمینی و آسمانی از عناصر واحدی و تقریباً به نسبت های نظیری ساخته شده‌اند. ما حتی مطمئن هستیم که قوانین طبیعت برای تمام عالم یکی بوده و نتیجتاً اتم سدیم همیشه همان اشعه و همان خط D را تشعشع میکند، خواه بر روی زمین باشد و خواه در ستاره شعری یمانی. اکنون تقریباً همگان بدین معترفند و هیچکس در حقیقی بودن این دانائی تردید ندارد. شک و تردید آنگاه پدیدار میشود که ما براساس مقرارت محکمی اما مبتنی بر فاکتهای مجزا بخواهیم منظره عمومی و بدون تضاد جهان را موافق تمام مجموعه اطلاعات تجربی و طبیعت عمومی ادراکات بشری بوجود آوریم. اکثراً این سؤال پیش میآید که: فرم قوانین فیزیکی تا چه اندازه یکمعنا است؟

برای این سئوال یک جواب قطعی وجود ندارد. هرکس که با تاریخچه علم آشنا باشد میداند که در برخی از ادوار پیشرفت آن، واقعاً هم دو

تئوری دوشا دوش هم وجود داشت که هر یک از آنها خود را حقیقی میشمرد و هر دوی آنها نیز بطور یکسان پدیده‌های معلوم آن دوران را بخوبی تشریح میکرد. اما همان تاریخ بازگو میکند که تجربیات نوین بمرور زمان یا از میان آن دو یکی را برمیگزید یا در مرحله تازه، هر دوی آنها بر اساس اصول نوین و عالیتری در هم میامیختند، همان قسم که بر تئوری‌های ذره‌ای و موجی نور نیز گذشت.

فاکت‌ها و مفاهیم علمی میتوانند تصادفی بنظر آیند لااقل برای آنکه در اوقاتی تصادفی، از طرف اشخاص تصادفی و اغلب هم در اوضاع و احوال تصادفی مقرر گشته‌اند. اما اگر بطور مجموع آنها را برداریم، یک سیستم قانونمند بدست میدهد که تعداد ارتباطاتش بقدری زیاد است که حتی یک حلقه آنرا بدون آنکه به بقیه دست بزنیم نمیتوان تغییر داد. این سیستم تحت فشار فاکتهای جدید دائماً تغییر میکند و دقیق تر میگردد ولی هرگز یکپارچگی و کمال خود ویژه‌اش را از دست نمیدهد. سیستم مفاهیم علمی ثمره تکامل طولانی مجموعه واحد این مفاهیم میباشد، زیرا طی سالیان درازی حلقه‌های قدیمی آن با حلقه‌های تازه و کاملتری عوض شده، اما مفاهیم بکلی نوین همواره با در نظر گرفتن مفهوم‌های قبلی و براساس آنها بوجود آمده اند. بدیگر سخن، علم — یک طرح خشک و مرده‌ای نیست بلکه یک جهاز زنده و رشد یابنده است و اگرچه کلیه مفاهیم علمی — آفریده فکر انسانی است، معذلک همانقدر تصادفی هستند که خود زندگی خردمندانه در طبیعت تصادفی است.

در یکی از داستانهای افسانوی ری براد بری، قهرمان داستان سوار برماشین زمان بسوی ایام بس دیرینه میشتابد و هنگام ملاقات کوتاهی در آنجا، غفلتاً پروانه کوچکی را زیر میگیرد. وقتی باز میگردد، جهانی را که هنگام عزیمت بجای گذاشته بود نمیشناسد: معلوم میشود که تجاوز و تخطی نا خود آگاه او در تکامل بیولوژیکی که در نظر اول چندان مهم بنظر نمی‌آمد، کلیه نتایج نهائی آن را بکلی تغییر داده است.

محتملاً خیالبافان برای افراط و تفریط جالب بیشتر از این مثال قابل بخشایشند. بدون گفتگو در طبیعت کلیه اشیاء و پدیده‌ها در ارتباط متقابلند، اما نه با چنین سببیت بی‌امان نزدیک به محدودیت

دترمینیستی بلکه با تیز هوشی و نرمشی بسبک سببیت آماری مکانیک کوانتائی. (معهذا این مثال بار دیگر از هر گونه تخطی در طبیعت بر حذر میدارد، زیرا هیچکس نمیتواند نتایج دور چنین اقداماتی را از قبل حدس بزند).

تکامل سیستم مفاهیم علمی نیز این چنین غیر قابل کنترل میباشد، اما یک جریان قانونمند است نظیر تکامل جهان جانداران، جزئیات آنرا طور دیگری میتوان پیش خود مجسم داشت، از جمله میتوان از بوالهوسی‌های عجیب آن حیرت کرد، اما نمیتوان بکلی طور دیگری فرضش کرد. ما نمیدانیم نخستین مفهوم و اولین ارگانیسم چگونه پدیدار گشتند و اگر آنها چیز دیگری بودند چطور بنظر میامدند، اما ما میدانیم که هر گام تازه تکامل، بهر آنچه از قبل وجود داشته است بستگی دارد. از اینرو هم بسادگی میتوان اسب را با چنگ و ناخن پلنگ و یا اتم را چون نان قندی حلقه‌ای پیش خود مجسم کرد، اما تصور طور دیگر تمام جهان جانداران و تمام سیستم مفاهیم علمی از عهده ما خارج است زیرا که جریان تکامل بیولوژیکی و جریان تشکیل دانش‌های علمی از قوانین درونی خویش تبعیت میکنند و ما قادر به تغییر آنها نیستیم و تاکنون هم درک کامل آنها مقدور نگشته است. ما در جهانی پا بعرصه وجود میگذاریم، که انواع تکامل یافته و مفاهیم تثبیت شده است. ما قادریم اسبی از جنس تازه بوجود آوریم و یا مفهومی را با آن دیگری که بیشتر با حقیقت علمی تطابق دارد تعویض کنیم. لیکن مسئله حقیقی یا کذبی بودن تمام سیستم دانائی بشری در خارج حیطه شعور قرار دارد و نمیتواند با زور حل گردد. بعلاوه این سؤال فاقد معناست. علم را بشر بوجود آورده و برای بشر، و تمام سیستم مفاهیم آن، چنان ابداع شده است که با طبیعت شعور بشری تطابق دارد. هدف نهائی از مفهوم ها آنست که پدیده‌هائی را که روی جهاز حسی ما و یا روی ادامه آن یعنی دستگاه‌ها تاثیر میگذارند پیش بینی کنند و توضیح دهند.

بسیار محتمل است که در جائی از عالم افلاکی، موجودات عاقل با جهاز حسی نوع دیگری و با ساختمان شعوری متفاوت از مال ما وجود داشته باشند. ممکن است سیستم مفاهیم آنها از بیخ و بن از مال ما متمایز باشد. اما اگر قادر باشیم حتی آنرا آنقدر بفهمیم که

بتوانیم با سیستم خود مقایسه کنیم، ما حق نداریم از این مقایسه به این نتیجه برسیم که آن ساختگی است. برعکس، اگر میتواند به جهاز حسی خود امکان پیشگوئی صحیح بدهد پس همیشه حقیقی خواهد بود. اطلاعات علمی ما از جهان — همان سایه‌های واقعی پدیده‌های واقعی طبیعت میباشند. سایه‌ای که آنها میاندازند، در پر تو روشنائی شعور ماست. همانطور که یک‌شیء در اثر تابش نور از زوایای مختلف میتواند سایه‌های گوناگون داشته باشد، درست همانطور هم سیستم اطلاعات علمی که زندگی عقلانی دیگر سیاره‌ای بوجود آورده میتواند از مال ما متمایز باشد. شاید روزی روزگاری که البته چندان هم نزدیک نخواهد بود، بتوانیم این «سایه‌های شعوری» را با هم مقایسه کنیم و همچون زندانی افلاطون که از غار جسته باشد، حقیقت را بکاملترین وجه از همان سایه‌ها باز سازیم، درست همانطور که یک استاد با تجربه میتواند از روی طرح چند تصویر سطح جسم، آن شیء را بسازد. تا وقتیکه این حادثه روی نداده است، ما باید دانش کنونی خود را ژرفتر سازیم زیرا با تمام عدم تکاملش باز هم این یگانه وسیله برای نفوذ به ژرفای پدیده‌های مورد مشاهده میباشد.

جهان عینی بوده و مستقل از شعور ما وجود دارد و کاری هم به این ندارد که ما مکانیسم درونی تظاهر برونی قسمتی از این جهان را چگونه پیش خود تصور میکنیم. این فقط برای خود ما حایز اهمیت است. تمام مسئله در چیز دیگری است، یعنی در اینست که در این طریق تا کجا میتوان پیش رفت. و تا چه زمانی میتوانیم تصورات خود را در باره علل پدیده‌های مورد مشاهده دقیقتر سازیم. ما باید بجای مسئله واقعیت فیز یکی، مسئله حدود روش های علمی را حل کنیم. این مسئله ایست که بعد از ابداع مکانیک کوانتائی بویژه مبرم گردیده است.

علم و بشریت

معمولاً میگویند که قریب ۳۰۰ — ۴۰۰ سال از موجودیت دانش (بمعنای امروزی این کلمه) میگذرد و در این مدت کوتاه دانش

توانسته است روش زندگی ملل متمدن و برخوردشان را نسبت به جهان و قا بلیت تفکرشان و حتی موازین اخلاقیشان را بکلی تغییر دهد.

خصوصیت اصلی فلسفه نوین زندگی، احساس حرکت دائمی در جهان میباشد که نتیجه آن اشتیاق، شنا سائی و درک جهان گرداگرد خویش است تا بتوان الزاماً به تغییرات آن پا سخ داد. انسان معاصر، به اصولی که یک بار برای همیشه مقرر شده باشند با نظر شک و تردید مینگرد، غایت نهائی هیچ علمی را قبول ندارد، و هر لحظه از زندگی در حال تجسس بهترین تصمیمات میباشد. اشتیاق حریصانه به دانش که برای نخستین بار در دوران رستاخیز زبانه کشید تا امروز فرو ننشسته است. روش علمی، دنیائی بوجود آورد که ما در آن زندگی میکنیم: آنرا پر از ماشین کرد که اغلب، مناسبات ما با آنها چون با موجودات زنده است، برای نخستین بار مردم را تغذیه کرد و از بیمارزی ها نجات داد و این خود منجر به رشد بینظیر بشریت گردید.

بر اساس پیروزی‌های روش علمی، ایمان تازه‌ای ظهور کرد و تثبیت یافت، ایمان بعلم که گاهی ایمان قرون وسطائی به وحی آسمانی را بیاد میآورد. تحولی را که علم در اذهان بوجود آورد فقط میتوان با تحول های عظیم مذهبی چون بودائی، مسیحیت و اسلام مقایسه کرد. از علم انتظار پا سخگوئی بکلیه مسایل زندگی را دارند، احکام آنرا خالی از خطا میشمرند، در بین خدمتگذاران آن نمونه‌هائی برای تقلید و پیروی میجویند، و تعداد گروندگان بدان بمراتب بیش از پیروان بودائی در خاور زمین دوران باستان افزایش میابد. علم برخلاف مذاهب سابق که عده‌ای از مردم را به تبعیت از عده‌ای دیگر وامیداشت، بشریت را حاکم بر طبیعت ساخت.

کشورهای باختری که این مذهب نوین را پذیرفتند بمیزان زیادی از کشورهای خاوری که روزی شکوفان بودند پیشی گرفتند. تمام اینها در پرتو این کشف ساده ممکن گشت که اصل بسیاری از پدیده‌های طبیعت را میتوان بصورت اعداد و معادلاتی نوشت که بین اعداد رابطه برقرار میسازد. روش علمی همانند هر روش پیگیری دارای مخارج، حیطه عمل و حدود موارد استعمال خاص خود میباشد.

در عهد باستان نشستن برکنار دریا و نظاره حرکت آفتاب در آسمان را کاری که برازنده مردان نباشد نمیشمردند. اما از آن دوران تا

بحال خیلی چیزها عوض شده است. علوم استقرائی جای عقلانیت خالص را گرفت و به «آزمون هماهنگی بوسیله علم جبر» پرداخت. علم بر پایه استوار تجربه قرار گرفت ولی خصوصیت خردمندی آرام و تفکر و تخیل بیعجله را از دست داد. البته از این میتوان شاکی و ناراضی بود ولی تغییرش دیگر مقدور نیست.

در دوران استقرار علم، افراد سومنی با جانبازی و فداکاری بدان مشغول میگشتند. دیر زمانی نتایج بدست آمده از آنرا برای همه الزامی نمیشمردند، حتی در اواسط قرن گذشته بود که فارادی برای اعلام علم بعنوان عنصر آموزشی همگانی تبلیغ میکرد. در دوران ما، علم امری همگانی گردیده و کارهای علمی از جمله عادی ترین امور و گاهی هم بصورت کاری فاقد لطافت شاعرانه در آمده است. علم از ابزار ادراک به یک نیروی واقعی مبدل گشت ولی در عین حال بر خوردش با امیال شدید انسانی بهیچوجه برازنده آن خصایل عالی که ظهورش مدیون آنست نبود.

همه اینها صحیح و همه نیز چنین است، اما در عصر علم از نتایج آن، جاهلانه و فقط بخاطر ملاحظات اخلاقی! سرباز زدن قابل تصور نیست: در آرزوی تمیزی نباید از حدود ضد عفونی کردن گذشت. مهم آن است که نوازندگان نیکو بنوازند، حالا آنها شراب میخورند یا نه این دیگر بسته به پیش آمد است. عجالتاً علم کار خود را خوب انجام میدهد: ماشین میسازد، بشریت را تغذیه میکند و نیرو میبخشد و از بیماری ها در امان میدارد. البته این از برخی علما بمناسبت اکتشافات مرگ آور شان اخلاقاً صلب مسئولیت نمیکند.

چنانچه معلوم است، در جریان تکاملات بیولوژیکی، همیشه تحولات یا موتاسیون* پدیدار میگردد که قسمتی از آنها بسرعت تثبیت یافته و عرصه را بر کمتر سازگارها تنگ میکنند. اما قسمت دیگر آنها برای احتیاط ذخیره میشود و فقط زمانی ظاهر میگردند که آن شرایط برونی که نوع بیولوژیکی را به انهدام تهدید میکند شکل میگیرد. اما تکامل قطع نمیگردد بلکه فقط فرم خود را تغییر میدهد، طی هزاران

---

* mutation — پیدایش تیپهای نوین در نتیجه تغییرات ناگهانی.

سال پیکر انسان تقریباً بدون تغییر مانده است. در عوض مفکوره اش آنچنان بطور باز گشت نا پذیر تغییر یافته است که شناخته نمیشود. در این شرایط، علم سر چشمه ایده‌های نوین میگردد که ممکن است بشریت را از بلایای آتی برهاند.

روش علمی — این یک نوع توافقی است بین مردم و به اندازه‌ای ثمر بخش است که میتواند عمومیت یابد. بر اساس این توافق، یک نوع عقل و هوش دستجمعی رشد و پیشرفت میکند و اگر جاویدان هم نباشد لااقل برای مدت نسبتاً طولانی است. عجالتاً این روشن نیست که هوش دستجمعی چه مدتی زیست خواهد کرد و حد و مرز روش علمی کجاست، اما در اینکه آن وجود دارد جای هیچ شک و شبهه‌ای نیست.

سرزهای روش علمی

انسان همیشه با «سؤالهای ابدی» حیات و مرگ، نیک و شر، خدا و ابدیت، هدف غائی وجود و مقام ما در گیتی سرگرم بوده است.

علم قادر به پا سخ دادن بسؤالات در باره معنای زندگی نیست و وظایف متواضعانه‌تری دارد. در اثر موفقیت های خیره کننده علوم دقیقه اغلب این موضوع را فراموش میکنند و آن امکان ساده را از نظر دور میدارند که راسیونالیسم و ایمان ما به علم نیز برای مردم نسل های آینده همانقدر مضحک و نامفهوم خواهد بود که مراسم راهبان مصری برای ما: این ادراک است که حد و حصری ندارد نه شکل تاریخی آن.

علم قادر است فقط بر آن پدیده ها معرفت یابد که خواص آنها را بتوان با اعداد ارزیابی کرد. کار هیپنوتیزور را با فرمول‌های ریاضی نمیتوان توضیح داد، اگر چه شکی در نتایج قابل تکرار آن نیست. دست آوردهای مرتاضان هندی یک واقعیت عملی است که بارها و بارها آزموده شده است. لیکن این نادره‌ها نمیتواند موضوع علوم دقیقه قرار گیرد زیرا آنها با اعداد و فرمول‌ها تحت بیان کمیتی در نمیآیند. درست همینطور هم پدیده تله پاتی تا وقتی با تجربیات علمی تایید نگردد

موثق نخواهد گشت. زمانه ما فقط و فقط چنین دلایلی را میپذیرد همانطور که در قرون وسطی تنها دلایل مستند به نفوذ و اعتبار را قبول داشتند.

از این بابت نباید افسرده خاطر گشت، زیرا این بدان معنی است که جهان از آن شکلی که علم بدان میبخشد، بمراتب غنی‌تر و پیچیده تر است. لبخند شاید چیز مهمی نباشد ولی خوشبختانه آنرا با هیچ چیزی عوض نتوان کرد. اینرا باید همیشه بخاطر داشت تا در جهالت علمی غرق نشویم، زیرا علمائی هستند که سعی دارند جهان‌را بصورت جداول بی‌انتهائی از اعداد مجسم سازند و بسیاری از پدیده های واقعی طبیعی را فقط بدان سبب که با وسایل علمی قابل توضیح نیستند رد میکنند، این چنین علما، با کشیشانی که با دیدن لکوموتیو چشم بر هم میگذاشتند و پای بر زمین میکوفتند و «شیطان دور شو!» میگفتند، چندان فرقی هم ندارند. برای چنین علمائی بین نابغه و قاتل فرقی نیست زیرا جداً از طریق علمی میتوان استدلال کرد که هر دوی آنها از ملکول های کاملاً مشابهی تشکیل شده‌اند.

مکانیک کوانتائی که ما اکنون در باره آن چیزهای زیادی میدانیم، در زمینه این نوع قضاوتها، باید دانشی بسیار ساده بنظر آید. در حقیقت هم ما در باره اتم هیدرژن آنقدر زیاد میدانیم که میتوانیم تمام خواص قابل مشاهده آنرا از قبل بگوئیم. محاسبه خواص ملکول ئیدرژن اگر چه خیلی مشکل است ولی با همه این ما بدان قادر هستیم. اما دیگر قادر نیستیم خواص آلبومین را محاسبه کنیم. آلبومین‌ها خیلی زیاد نیستند ولی هر آدمی باتمام تکرار نشدنی هایش، از همین مشت کمی از آلبومین‌ها تشکیل شده است.

بدیگر سخن، با اینکه علم نه تنها مفید است بلکه حتی خیلی هم لازم میباشد، ولی نباید با چشمداشت به نیکی‌هایش به همه چیز آن تن در داد بخیال آنکه عجالتاً بدون آن کاری نمیتوان از پیش برد.

علم و هنر

محدودیت‌های علم بویژه وقتی بطور چشمگیر ظاهر میگردد که بخواهیم با روش‌های آن به اسرار هنر پی ببریم. مثلاً علم در باره

پیانو «همه چیز میداند»: تعداد سیم‌ها، طول و کیفیت آنها، نوع چوب، ترکیب چسب و بالاخره کوچکترین دقایق ساختمانی آنرا میداند. معهذا قادر نیست توضیح دهد که وقتی یک هنرمند بزرگ در کنار این جعبه صیقلی قرار گرفت، چه بر آن میگذرد. شاید برای انسانی که از خواندن کتابی اشک میریزد چگونگی دست یافتن مولف بدل خواننده سطرح نباشد. البته ممکن است او بعداً کتاب انتقادی دو بار قطورتر از کتاب مورد حیرتش را بخواند، ولی تمام اینها که جریان آماده کردن جسد در کالبد شکافی را بخاطر میاندازد که برای کار شناسان امری لازم و برای اکثر مبتدیان کاری نا مطلوب و خسته کننده میباشد. (مارک آورلیوس میگوید: «برای تحقیر رقص و آواز کافی است آنها را به عناصر متشکله شان تجزیه کنیم»)، اما هنر، خردمندانه حقایق بلاواسطه مدرکات حسی‌را از نفوذ مصرانه علم مصون میدارد. ارزشی که در کلیه ادوار بدان داده‌اند، درست بمناسبت همین قابلیتش بوده است که «هماهنگی هائی را بیاد ما میآورد که قابل دسترسی تحلیل منظم نیستند».

هر کس اگر بخواهد میتواند چگونگی ساختمان دیگ اتمی را بفهمد، حتی اگر آنرا هم ندیده باشد، اما دلربائی را برای کسی که حتی یک بار هم تا ثیرش را روی خود نیازموده باشد، با هیچ نیروئی نمیتوان توضیح داد.

علت نیرومندی علم در عمومیت آن است: قوانینش از امیال اشخاص مختلف آزاد بوده و فقط تجربیات دستجمعیشان را بدون وابستگی به سن و سال، ملیت و روحیاتشان باز تاب مینماید. راز هنر در تکرار نشدنی آن میباشد: نیروی تاثیر آن، بکلیه تجربیات قبلی بشریت، به ثروتهای اجتماعی آن، به تبدلات نا محسوس روحیه، به نظریات و کلمات و تماسهای تصادفی بستگی دارد و خلاصه به همه‌ی آنچه که نیروی فردی، زیبائی گذرا و قدرت تکرار ناپذیری را تشکیل میدهد مربوط میباشد.

حد اعلای دست آورد یک عالم در آنست که نتایج کارش مورد تایید قرار گیرد، یعنی بعداً کس دیگری بتواند آنها را تکرار کند، اما در زمینه هنر، بر عکس است، تکرار بمثابه مرگ است، یک هنرمند واقعی هربار در صحنه نمایش، مرگ را بطرز نوینی جلوه‌گر میسازد.

همگان میدانند که زمانی بود که موسیقی دانان بدون داشتن سواد موسیقی، حتی سنفونی میساختند، ممکن است سنفونی‌ها غیر عادی بودند، اما در هر حال حق حیات داشتند، زیرا بالاخره کسی یافت میشد که از آنها خوشش بیاید. در علم چنین چیزی ممکن نیست: در علم سنگ محک های حقیقی وجود دارد و کلمه «خوش آمدن» از فرهنگ لغات آن حذف شده است.

در علم، حقایق ثابت میگردند و پدیده‌ها توضیح داده میشوند. اما در هنر آنها را تفسیر میکنند: هنر با قضاوتهای منطقی بیگانه است و جای براهین دقیق بلاواسطه اشکال قانع کننده میگیرد.

علم همیشه میتواند توضیح دهد که چرا این فرمول خوب و یا این تئوری بد است. هنر فقط احساس جذابیت موسیقی و یا درخشش سونات را رخصت میدهد و هرگز هیچ چیز را تا پایان توضیح نمیدهد.

علم از آن زمان آغاز شد که بیرون کشیدن ساده‌ترین قانونمندی ها از میان انبوه درهم و برهم فاکتهای تصادفی را آموختند، اما هنر فقط در آنجا آغاز میشود که در جریان جمع شدن چیزهای ساده و مفهوم، بناگاه احساس معجزه ظهور میابد.

علم اساسمند و بدون شتاب است: مسایل خویش را طی سالها حل میکند و غالباً بسیاری از آنها نیز از نسلی به نسل دیگر منتقل میگردد. علم میتواند بخود چنین اجازه ای بدهد، زیرا وسایل یکمعنا برای ثبت و ضبط فاکتهای بدست آمده اختراع شده است. در هنر تجلی احساساتی جهان دقیق اشکال لحظه‌ای بیش بحیّات خود ادامه نمیدهد («قهرمان یک آن» — این لقبی است که اغلب به هنرپیشگان بزرگ میدهند). ولی هنر چنان در قلوب مردم اثر میگذارد که سالها زدوده نمیگردد و چه بسا مسیر زندگی آنان را بکلی تغییر میدهد. «ای لحظه درنگ کن تو زیبا هستی»، این آرزوی فائوست را فقط سحر و جادوی هنری ظریف میتواند تجلی بخشد. به برکت هنر است که خاطرات انسان حتی پس از گذشت سالها میتواند تنوع افکار و حالات گذشته را که وصف آن با کلمات غیر ممکن است با روشنی خیره کننده‌ای احیاء سازد.

با اینکه اشکال هنر ظریف و شکننده و نا یکمعنا بنظر میاید، معهذا هنر دیر پای‌تر و قدیمی‌تر از علوم میباشد. حماسه ژیلگامش

و منظومه هومر از آنجهت هنوز هم ما را بهیجان در میاورد که در باره آن خصوصیات عالیه بشری است که طی هزاران سال تغییر نیافته. اما علم بزحمت موفق میشود امکانات نوین تفکر را که بتازگی کشف شده اند تحکیم بخشد. امروزه قرائت کتب فیزیک قرن گذشته کار آسانی نیست زیرا هم بسیار کهنه شده‌اند و هم روش تفکر علمی نسبت به آن زمان بکلی عوض گردیده است. اهمیت و ارزش آثار علمی بقدمت آنها نبوده بلکه به ثمر بخشی آنهاست: همینقدر که در موقع خود به پیشرفت علم کمک کرده‌اند برای آنها کافی است.

اینگونه مقایسه‌ها را میتوان همینطور ادامه داد و تمایزات گونا گون بیشمار بین علم و هنر را جستجو کرد و یافت و اینکار پایانی هم ندارد. اما مفید بودن چنین اشتغالی مشکوک بنظر میرسد، زیرا در این بررسی در حقیقت بین آنها تفاوتی نیست و تمایز آنها فقط بر حسب روش درک جهان اطراف و طبیعت انسانی میباشد. در یونان باستان، بین آنها فرقی نبود و بهمین جهت هم بود که هر دو را تحت نام واحد τ ε χ ν η میخواندند که بمعنای «مهارت» «تجربه آموزی» «ورزیدگی» است (از اینجا هم «تکنیک»).

دیر زمانی است که شعرا دیگر نه به شعر بطور ساده بلکه به «افکار شاعرانه» می‌اندیشند. علما نیز بنوبه خود متقبل میشوند، برای کسانی که مایل هستند «افکار شاعرانه را در علم» توضیح دهند. سر انجام، هم اینها و هم آنها، از پنهانگاه خود خارج گشتند تا مرزهای مصنوعی طوایف را در هم شکنند و مباحثات قدیمی در باره قدمت خانواده را فراموش کنند. بحث در اینکه کدامین دست انسان مهمتر است، راست یا چپ، فاقد معنی میباشد، اگر چه رشد و کار برد آنها یکسان نیست.

یک هنرپیشه میداند که اگر ابتدا به آموزش علوم طرز بیان، حرکات چهره و ژست نپردازد، هرگز بحد اعلای مهارت دست نخواهد یافت. تنها پس از آنست که (البته اگر استعداد داشته باشد!) میتواند از این چیزهای ساده و روشن با وسیله‌ای که برای خودش هم مجهول است چیزی تکرار نشدنی و حیرت انگیز بوجود آورد.

درست همینطور هم یک دانشمند، حتی دانشمندی که متخصص فیزیک است، تا وقتیکه فقط بفرمول ها و منطق ایمان داشته باشد،

هنوز یک فیزیک‌دان شمرده نمیشود. کلیه حقایق ژرف علم از همان لحظه پیدایش، مهمل‌نما هستند — و دسترسی بدانها تنها با اتکاء بمنطق و تجربه نا ممکن است.

خلاصه، هنری تمام عیار بدون علمی دقیق نامقدور است. درست همینطور هم روش کشف حقایق ژرف علمی در ورای عاوم قرار داشته و تماماً از آن قلمرو هنر میباشد. اما در این حال همیشه سرزهای تحلیل علمی هنر و حدودی وجود دارد که مانع از آن میشود تا بتوان فقط با الهام آنی علم را دریافت.

در جریان درک جهان اطراف، روش‌های آشکار متممیت علمی و هنری وجود دارد. روش علمی روزانه همانا تحلیل فاکتها و تشریح علل آنها، تلاش در «... پیدا کردن قانون ابدی تبدلات حیرت انگیز حوادث» و سعی در «... جستجوی قطب ثابت در سلسله بی پایان پدیده‌ها» میباشد. در هنر، آن ترکیب غیر ارادی برتری دارد که در همان «تبدلات حوادث» نیز یگانه و تکرار نشدنیش را میابد و از همان «سلسله بی پایان پدیده‌ها» بدون اشتباه فقط آنرا انتخاب میکند که احساس هماهنگی هدف را ممکن میسازد.

سر انجام همین اواخر بود که آن مناقشه بیمعنا در باره «فیزیک دانان» و «غزلسرایان» که یک آتش مزاجی بود و تنها میتوان نتیجه عدم آمادگی مناقشه گرانش دانست، خاموش گشت. جریان خلاقیت (اما نه دست ورزی!) چه در فیزیک و چه در نظم، همانندند. در شاعر ابتدا احساس وزن و حرکت مبهم شعر پدیدار میگردد و فقط بعد از آنست که (حالا دیگر دانسته و فهمیده) او فرم و الفاظ لازم را برای بیان آن میابد. در فیزیک‌دان، ابتدا منظره عمومی غیر واضحی از پدیده ظاهر میشود که اکثراً در باره آن حتی با کلمات هم چیزی نمیتوان گفت، فقط در آینده است که این تصویر بیشکل و عقلانی ولی با همه این تاحدی یکپارچه و ترکیبی را مورد تحلیل منطقی قرار داده، آنرا به مفاهیم تجزیه کرده و بزبان فرمول تثبیت مینماید و بالاخره با تجربه میآزماید.

زنجیره «شکل — مفهوم — فرمول» در هر دانشمندی به یک نوع بنا میگردد که از لحاظ نیرو، سرعت و ثبات از هم متمایز میگردند. در این زنجیره همه چیز تاثیر دارد، از طریق پیشرفت دانشمند،

حدسیات و گمراهی‌های قبلی و ذخیره دانائی او گرفته تا حس زبان و حتی خونگرمی و مزاج او. این زنجیره، در برخی قطع میشود، مثلاً دانشمندان زیادی هستند که بسیار بندرت اشکالی بر آنها نازل میشود. اما از میان آنان، آنکسانی که حایز تمام سلسله روابط متقابل میباشند، در بعضی از مراحل نائل بکسب استعداد ارزیابی زیبائی پرستانه نتایج نهائی علوم میگردند. در گوش آنان مفهوم های فرمول زیبا، محاسبه ظریف، فرضیه جالب، بسیار طبیعی و کاملاً با معنی طنین‌انداز میشود. و برای آنان هنر نه تنها تکان اولیه در علم شمرده میشود بلکه در عین حال عالیترین نتیجه تظاهر آنست. البته این بدان معنی نیست که آنان بجای علامت انتگرال کلید سل بنویسند، این فقط در رمانهای بد است که دانشمند قهرمان را چنان جلوه میدهند که گویا وقتی بموسیقی گوش میدهد، این بخاطرش میاید که اکتاو ها بر اساس لگاریتم بناشده‌اند.

جهان مدرکات انسانی بینهایت گوناگون و در عین حال درهم و برهم بوده و با تاثرات شخصی رنگامیزی گشته است. انسان سعی دارد خاطرات خود را تحت نظم و ترتیب در آورد و آنها را با خاطرات دیگران وفق دهد. برای همین هم بود که علم را اختراع و هنر را بوجود آورد. درست همین کوشش بود که علت بر انگیزنده عمومی ظهور آنها گشت. حیرت از اینکه:

چگونه، این فرمول، این قصیده، این تئوری و این موزیک و آهنگ بوجود آمده، همان احساسی است که آنهارا پیوند میدهد (در عهد باستان میگفتند «دانش ما از حیرت است»). درک استتیکی زیبائی منطقی علم برای هر یک از دانشمندان واقعی فرم خاص بخود دارد. درست همین کیفیت است که آنها را مستعد میسازد تا طبیعت را همانند یک نقاش درک کنند که از میان تعداد بینهایت خطوط مدل خود، تنها خطوطی‌را بر میگزینند که به مدل او زیبائی و جان میبخشد.

در کلیه علوم و هنر ها، طبیعت خلاقیت یکی است، مشخص‌کننده آن نیز قابلیت حس درونی در گروهبندی فاکتها و تاثیرات حاصله از جهان میباشد بطوریکه بتواند احتیاج احساسی ما به یکنوع حس هماهنگی را تامین سازد زیرا انسان هنگام برگزیدن چیزهای ساده و مکمل از میان انبوه درهم و برهم تاثیرات خارجی محتاج آن

میباشدمثلاً مجسمه از مرمر، منظومه از کلمات، و فرمول از اعداد. این ارضاء احساسی در عین حال نخستین سنگ محک حقیقی بودن آنچه بوجود آمده است میباشد که البته بعداً آزموده خواهد شد، در علم با تجربه و در هنر با مرور زمان.

آینده علم

وقتیکه در باره علم میاندیشیم معمولاً جهانی از ماشین ها، شستی ها، گنبدهای شفلف، خلاصه جهانی از اشیاء را پیش خود مجسم میکنیم که تحت اراده انسانی قرار گرفته که رو پوشی سپید چون برف بر تن دارد. عین همین اشتباه را نیز کسانی مرتکب میشوند که سرپائی با مکانیک کوانتائی آشنا میگردند. آنچه در آن معمولاً متحیرشان میسازد فاکتهای «خشن و مرئی» است مثل بمب اتمی، یخ شکن اتمی، نیروگاه برق اتمی. تنها عده بسیار معدودی میدانند که تمام این دست آورد ها نتایج بسیار ساده مکانیک کوانتائی میباشند. از آنچه باید تعجب کرد آنها نیستند بلکه سادگی شگفت انگیز و هماهنگی سیستم نظریه‌های علمی فیزیک اتمی است که حیرت‌انگیز میباشند زیرا در نتیجه آن ساختن یخشکن، نیروگاه برق و متاسفانه بمب اتمی ممکن گشت.

هیچکس نمیتواند بدون ریسک سقوط در ساده‌لوحی و یا مبالغه گری، در باره آینده علم سخن گوید. محدودیت روش علمی را در آن رشته که بکار بسته نمیشود بسهولت میتوان ثابت کرد اما نمیتوان امکاناتش را پیشگوئی کرد.

شکی نیست که استعداد تفکر علمی فقط یکی از قابلیت‌های قوای مدرکه بشری است که هنوز هم خود را تا پایان نشان نداده است. کاملاً محتمل است که در آینده انسان درک نوینی از جهان اطراف در خود بیابد و بر این اساس نیز مقام خویش را در آن بهتر بفهمد. اما این دانائی نوین و کاملتر تقریباً بدون شک قسمتهای اساسی کلیه دست آوردهای علمی را در بر خواهد گرفت.

فقط میتوان حدس زد که این دانائی نوین چگونه خواهد بود: انسان همیشه بیش از آنچه دارد میتواند. ممکن است در آینده استعداد

معرفت ترکیبی، که خاص خردمندان باستانی بود و اکنون دیگر در زمینه موفقیتهای تجزیه و تحلیل علمی تقریباً خاموش گشته است با نیروی تازه‌ای در انسان رشد یابد. ممکن است در آینده احساس درونی از یک وسیله پیش بینی علمی به ابزار استدلال علمی مبدل گردد. در این چیز حیرت انگیزی وجود ندارد، ما بچشم کارگر الماس جداکن اعتماد داریم، اما فرق او با کارگر معمولی فقط در تمرین زیاد وی میباشد. درست همینطور هم ممکن است در آینده بیاموزیم که چگونه میتوان احساس درونی را پرورش داد تا بدانجا که بتوان در اشخاص مختلف آنرا از نو بوجود آورد. اگر واقعاً چنین امکاناتی بدست آید، آنگاه مسئله عدم یکمعنائی مفاهیم علمی و بطور کلی مسئله دستگاه عظیم منطق، بخودی خود برطرف میشود. نتیجه چنین انقلابی در تفکر را نمیتوان پیشگوئی کرد.

در فرضیه‌های درباره آینده علم، کمبود وجود ندارد: طیف کاملی از آنها موجود است که در آن از شور و شوقی سرکش گرفته تا ظلمانی‌ترین بدبینی‌ها بچشم میخورد. یکی، از قبل بحل مسئله پرداخته میگوید که تمام تمدن ما بر اثر استفاده نا شایسته از نیروهائی که آن بوجود آورده است بزودی محو و نابود خواهد شد. دیگری اطمینان میدهد که بشریت بحیات خود ادامه خواهد داد حتی اگر خورشید هم خاموش گردد.

لیکن بشریت بهر شکلی که پیشرفت نماید — البته اگر زنده بماند — همواره با حیرت و شگفتی به اندیشه‌های قرن پر شور و تلاش علمی ما خواهد نگر یست، درست همانطور که ما اکنون عصر رستاخیز و دوران خردمندان باستان را بیاد میآوریم.

پایان سخن

در ایام جوانی همیشه این نکته مرا مبهوت میکرد که قرائت کتب خوب — همان جریان غیرمادی چگونه میتواند سخن گفتن، لبخندزدن، نمود چهره ودیدگان و حتی رفتار و ژست انسان، خلاصه سیمای او را بکلی تغییر دهد. فقط بتدریج بود که دریافتم این یکی از مهمترین معماهای ادراک بشری میباشد که تا کنون هم حل نشده است.

هنگامیکه بادیه‌نشینان بدوی با آهن گداخته بر اغنام و احشام خود داغ میزدند، نمیدانستند که طیف متشعشعه از آن تابع فرمول پلانک است. وقتی آنها اسبان خود را در رودخانه میشستند، هیچ تصوری هم از ملکول آب بشکل زاویه ۱۰۹ درجه و ۳۰ دقیقه نداشتند، و هنگام خروج از رود خانه فکر نمیکردند که تیرگی پوست بدن خود را مدیون فوتون ها هستند.

اکنون با گذشت هزاران سال همه چیز طبیعت لایتغیر مانده، باز هم آفتاب هر روز از خاور طلوع میکند، آب رودخانه در صفر درجه سانتیگراد یخ میبندد و فلز گداخته طبق قوانین ابدی ترمودینامیک سرد میشود.

اما حالا از تمام اینها آگاهی داریم. ممکن است دانش ما ما را سعادتمند نکرده باشد (زیرا میگویند: «هر چه عقل بیشتر غم بیشتر») اما این دانش بازگشت‌ناپذیر است، عنصر تمدن و فرهنگ، همان یگانه چیزی است که ما را از گله داران اولیه متمایز میدارد و دیگر از نعم و دشواری‌های آن نمیتوان چشم پوشید. مجموعه دانش ها که ما تمدن و فرهنگش مینامیم، بقدری روش زندگی و سیستم نفایس و ارزشمندی های ملل متمدن را تغییر داده است که حتی بسیاری میل دارند که خود را به نوع بیولوژیکی دیگری غیر از آن نیاکان وحشی که همه ما از آنها پدیدار گشته ایم نسبت دهند.

اکنون بشریت را همین توده عظیم دانش که خود بوجود آورده به انهدام تهدید میکند. اغلب پند و اندرزهائی چنین بگوش میرسد که گویا علم و دانش به بن بست افتاده و پیشرفتش سریعتر از آنست که بتوان آنرا فهمید و خلاصه گویا در گرداب مسایل کوچک و ناچیز پیش پا افتاده غرق شده و ایده آل کبیر خود را بدست فراموشی سپرده است. عده زیادی نیز پارا فرا تر گذاشته سخنان ظاهرالصلاح الیوت * را تکرار میکنند که: «ما خردمندی را فدای علم کردیم. ما در سیل اطلاعات، علم را گم کردیم و از دست داده‌ایم».

چنین قضاوتهائی فقط اشخاص فرسوده و مایوس‌را بخود جلب میکند. اما علیرغم این یأس و ناامیدی اگر بندرت هم باشد،

---

* Thomas Stearns Eliot (۱۸۸۸ — ۱۹٦٥)

بیکباره جرقه نبوغ و استعداد شعله میکشد و در هرج و مرج رخ دادها و عقاید، آنچه را که خیلی ساده و مبهم است منور میگرداند. آنوقت است که همه گله گذاری‌های خود و مجادلات بر سر چیزهای کوچک را کنار گذاشته در مقابل حقیقت نوین و سرانگشت حیرت بدندان میگزند: همچنان که هر زیبائی کاملی، نادر و شگفت‌انگیز است و با نیروی غیر قابل اثباتش وادار به تسلیم میسازد.

من چنان امیدوارم که کسانیکه این کتاب را تا پایان خوانده‌اند توانسته باشند در شعف و شگفتی که من هنگام نخستین آشنائی خود با جهان غیر عادی مکانیک کوانتائی در خویش حس کردم شریک باشند.

خوانندگان گرامی!

بنگاه نشریات «میر» خواهشمند است نظریات خود را در باره این کتاب و ترجمه و چاپ آن و نیز سایر نظریات و پیشنهادهای خود را برای ما بفرستید.

بنگاه نشریات «میر» کتاب‌های علمی و برخی کتاب‌های دیگررا به بسیاری از زبان‌های جهان، از جمله به زبان فارسی، ترجمه و منتشر میکند. شما میتوانید اطلاعات لازم در باره این کتاب‌ها را از راهنماهای کتابی که همه‌ساله از طرف بنگاه ما انتشار می‌یابد، به دست آورید.

خواهشمند است نظریات و پیشنهادهای خود را به نشانی‌های زیر بفرستید:

«میر»، پروی ریژسکی ۲،
مسکو، اتحاد شوروی
«مژکنیگا»، گ — ۲۰۰
مسکو، اتحاد شوروی

اداره بازرگانی خارجی سراسر شوروی «مژدونارودنایا کنیگا» در ایران نیز نمایندگی دارد.